

AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONSUMO DE ÁGUA CONTAMINADA POR ARSÊNIO: ESTUDO DE CASO EM PORTUGAL

Vitória Aguiar Barbosa

Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente - Riscos:

Avaliação e Gestão Ambiental

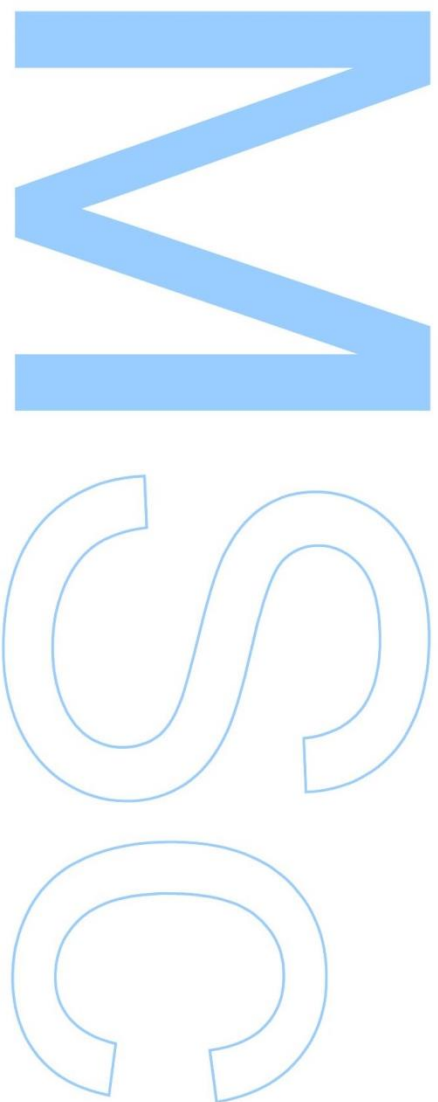
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de
Território

2019

Orientador

Joaquim Carlos Gomes Esteves da Silva, Professor Catedrático

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

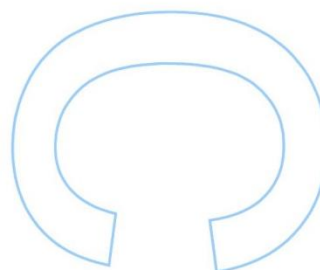
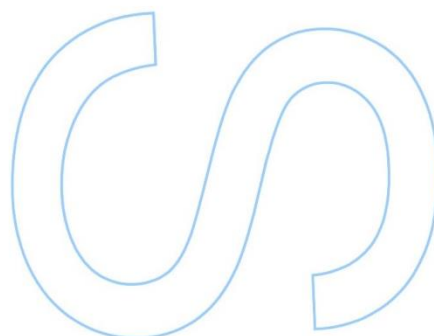
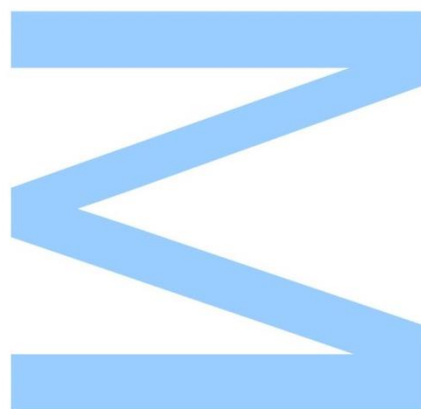




Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder sabedoria para desenvolver este estudo, e por me permitir me manter focada em busca da conclusão deste mestrado. Agradeço também aos meus guias e protetores espirituais por estarem sempre comigo e emanando a sua luz.

A realização desta dissertação também contou com importantíssimo apoio, que sem os quais a conclusão não seria possível, o qual sou extremamente grata.

Ao Professor Doutor Joaquim Esteves pela sua orientação, e por seu suporte de conhecimento, me apresentando uma problemática de profunda relevância para a sociedade.

A Professora Doutora Gabriela Duarte por sua contribuição e assistência na linguagem textual do trabalho, e pelo apoio intelectual me proporcionado.

A todos os docentes que estiverem sempre presente nesta trajetória na Universidade do Porto, na qual não mediram esforços para transmitir seus conhecimentos.

A minha família por todo o incentivo e por sempre acreditarem em mim, em especial aos meus pais Olivia Aguiar e Augusto Xavier Barbosa, por todo o amparo, amor e cuidado incondicional. As minhas irmãs, por simplesmente existirem na minha vida, e incentivarem a minha dedicação pela busca de lhe proporcionar um futuro melhor.

A toda minha família, em especial minhas avós Afonsina Saraiva e Mariléa Aguiar por todo suporte e proteção. E também às minhas tias Lucilea Barbosa por me receber de braços abertos em sua vida, por toda dedicação, carinho e por sempre acreditar em mim; e Lucimalva Barbosa por todas as experiências incríveis e inesquecíveis que me proporcionou, me ensinando a olhar o mundo de uma forma diferente. E ao meu tio William Aguiar, que sei que estar olhando por nós, e emanando sua força e a sua ajuda.

Aos meus amigos, pelo suporte e encorajamento naqueles momentos cruciais desta difícil jornada, por me incentivarem e principalmente pelo seu companheirismo em todos os momentos da minha vida.

Por fim, minha eterna gratidão a todos que fazem parte e contribuíram para concretização deste trabalho, me estimulando e emocionalmente e intelectualmente.

RESUMO

A preocupação com a saúde humana é um fator que cresce a cada dia, necessitando de uma constante avaliação dos diversos fatores que podem interferir negativamente no organismo humano. Diante disso, torna-se claro o desenvolvimento de estudos nos quais pode-se avaliar os riscos das substâncias químicas, físicas e/ou biológicas presentes nas águas e nos alimentos, perante a população.

Neste trabalho considera-se o arsênio um elemento prejudicial à saúde, frente a inúmeras substâncias que podem acarretar riscos. Este é considerado um metaloide, amplamente distribuído pelo globo, sendo naturalmente encontrado em diversos compostos e no meio ambiente, podendo se apresentar na forma de sulfeto e em grandes variedades de minerais, possui características tóxicas, mesmo em concentrações baixas. Por essa razão, em algumas regiões, a sua concentração é considerada como relevante, acarretando na contaminação de solos, águas, e alimentos e consequentemente na possível intoxicação do ser humano.

O hidroarsenismo está a se tornar uma problemática de saúde pública grave, visto que a presença de arsênio em fontes de captação de água para consumo aumenta gradativamente. Por conseguinte, tornou-se necessário uma atualização na legislação mundial, na qual o valor máximo permitido passou a ser mais restritivo para águas de consumo. Tendo em vista a presença deste composto nos corpos de água, ressalta-se que a sua proveniência se dá tanto por fontes naturais, como por fontes antropogênicas, esta última considerada legalmente como poluição e passível de multas e punições.

Com o objetivo de inferir os possíveis danos à saúde para a população portuguesa, através da ingestão de arsênio e com intuito de alertar para a prevenção de possíveis doenças ocasionadas, este trabalho apresenta uma metodologia de avaliação de risco por meio da elaboração de cenários, onde foram utilizados, de estudos anteriores, valores das concentrações de arsênio nas águas e alimentos, aplicando-os em cálculos com a finalidade de obter uma visão real dos danos a saúde.

Palavra Chave: Arsênio, avaliação de risco, saúde, meio ambiente.

ABSTRACT

The Concern about human health is a factor that grows every day, requiring a constant evaluation of the various factors that can negatively affect the human organism. Given this, the development of studies in which the risks of the chemical, physical and / or biological substances present in the water and food to the population can be assessed is clear.

In this work arsenic is considered an element that is harmful to health, given the many substances that may pose risks. This is considered a metalloid, widely distributed around the globe, being naturally found in several compounds and in the environment. It can be in the form of sulfide and in great varieties of minerals, has toxic characteristics, even in low concentrations. For this reason, in some regions, its concentration is considered relevant, leading to contamination of soil, water, and food and consequently the possible intoxication of humans.

The hydroarsenism is becoming a serious public health problem as the presence of arsenic in drinking water sources is gradually increasing. As a result, an update to world law has become necessary, where the maximum allowable value has become more restrictive for drinking water. Given the presence of this compound in water bodies, it is emphasized that it comes from both natural and anthropogenic sources, the latter considered legally as pollution and liable to fines and punishments.

In order to infer the possible damage to health for the Portuguese population through arsenic ingestion and in order to alert to the prevention of possible diseases, this paper presents a risk assessment methodology through the elaboration of scenarios, where From previous studies, arsenic concentrations in water and food were used and applied in calculations in order to obtain a true view of health damage.

Keyword: Arsenic, risk assessment, health, environment.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
INTRODUÇÃO	11
OBJETIVO DO ESTUDO	13
1. CAPÍTULO: RECURSOS HÍDRICOS	14
1.1. A sua importância e distribuição no Mundo.....	14
1.2. Qualidade das águas para consumo	18
1.3. Poluição das Águas.....	23
1.4. Acesso à Água Potável.....	25
2. CAPÍTULO: CONTAMINANTES DAS ÁGUAS	28
2.1. Substâncias contaminadoras.....	28
2.2. Arsênio	30
2.3. Presença de Arsênio na água do mundo	33
2.4. Presença de Arsênio na água de Portugal.....	36
2.5. Presença de arsênio nos alimentos	40
3. CAPÍTULO: AVALIAÇÃO DE RISCO	45
3.1. Riscos de contaminação.....	45
3.2. Fontes de contaminação.....	47
3.3. Exposição ao arsênio e Impacto na saúde humana.....	49
3.4. Doenças relacionadas	51
3.5. Avaliação de risco (cenários).....	53
4. CAPÍTULO: MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
5. CAPÍTULO: RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
6. CAPÍTULO: CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS	61

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Exemplificação do ciclo hidrológico.....	15
Figura 2: Distribuição de fontes de água no mundo.	17
Figura 3: Percentagem de água potável dentro de Portugal.	21
Figura 4: Pessoas afetadas pela água contaminada por arsênio.	33
Figura 5: Concentração de arsênio por região em Bangladesh.....	35
Figura 6: Disponibilidade de arsênio em Portugal.	38
Figura 7: Esquema das fontes de exposição de arsênio ao homem.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição de água no mundo.....	16
Tabela 2: Classificação das águas para as concentrações de substâncias.	19
Tabela 3: Percentagem de população servida com sistemas de águas e esgotos em Portugal.	26
Tabela 4: Substâncias físico-químicas e os valores máximos permissíveis.	28
Tabela 5: Componentes de arsênio	31
Tabela 6: Comparação da qualidade da água de Portugal referente à presença de arsênio.....	37
Tabela 7: Indicação da qualidade da água.....	37
Tabela 8: Valor paramétrico máximo adotado no Canadá.	42
Tabela 9: Níveis de arsênio normalmente encontrado no ambiente.....	45
Tabela 10: Minerais de arsênio mais comum na natureza.	47
Tabela 11: Fontes de arsênio nos dois tipos de mananciais	48
Tabela 12: Relação da toxicidade do arsênio com os seus respectivos sintomas.....	51
Tabela 13: Parâmetros para avaliação da dose resposta para os quatro cenários referentes à concentração de arsênio nas águas subterrâneas.....	56
Tabela 14: Parâmetros para avaliação da dose resposta para o cenário referente à comparação da quantidade de ingestão de água com concentração de arsênio.....	57
Tabela 15: Estimativa do número de cancros para os diferentes cenários propostos.	58
Tabela 16: Parâmetros para avaliação da dose resposta para os dois Cenários referentes a concentração de arsênio no arroz.....	58
Tabela 17: Estimativa do número de cancros para os diferentes cenários propostos.	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição da quantidade da água para as atividades humanas	17
Gráfico 2: Comparação do índice da distribuição de água segura.	39
Gráfico 3: Comparação da concentração de arsênio no arroz e o cozido.	44

LISTA DE ABREVIATURAS

As – Arsênio

ADD – Dose Média Diária

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CBO - Carência Bioquímica de Oxigênio

CQO - Carência Química de Oxigênio

DDA - Dose Diária admissível

EFSA - European Food Safety Authority

EPA - Environmental Protection Agency

EPAL- Empresa Portuguesa das Águas Livres

ERSAR - Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

IARC - International Agency for Research on Cancer

INE - Instituto Nacional de Estatística

IRAR - Instituto Regulador de Águas e Resíduos

MAOTDR - Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

LADD - Lifetime Average Daily Dose

LM – Limite Máximo

OMS – Organização Mundial de Saúde

P – Incidência de Tumores ou Risco de Cancro

QT – Quantidade Total

RfD – Dose de Referência

SF- Fator de Declive

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância

VMA – Valor Máximo Admissível

VPM – Valores Máximos Permissíveis

WHO - World Health Organization

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são considerados como um bem de fundamental importância para o bem estar de todos os seres vivos, está presente em todas as etapas da vida e apresenta um ciclo altamente sustentável, porém finito. Além disso, os recursos hídricos estão distribuídos naturalmente por todo o globo terrestre de forma desigual, e apenas uma pequena parcela é disposta para o consumo humano.

Destaca-se também que, além da baixa disponibilidade hídrica, a interferência antrópica na natureza ocorre de forma cada vez mais intensa, tanto para suprir as necessidades diárias do ser humano, quanto no uso irregular dos recursos naturais, o que pode afetar de forma negativa o meio ambiente. Logo, a poluição do ar, dos solos e das águas são enfoques desse impacto negativo causado pelo homem ao meio, através da emissão de gases poluentes, despejos de efluentes irregulares e sem tratamento nas águas e uso inadequados dos solos, entre outros.

Visto isso, torna-se de fundamental importância a realização de uma avaliação dos riscos, visando evitar possíveis danos ao meio ambiente e à população. De acordo com o Decreto-lei n.º 254/2007, o risco é denominado como sendo “a probabilidade de ocorrência de um efeito específico dentro de um período determinado ou em circunstâncias determinadas”. (MAOTDR, 2007). Dessa forma, o trabalho visa determinar o dano que o arsênio, como agente provocador, causa à população de Portugal exposta a tal risco.

Sabe-se que, dentro de um corpo hídrico, naturalmente existem concentrações de substâncias que são pertinentes para o equilíbrio do ecossistema, entretanto, quando os valores admissíveis destas substâncias são extrapolados inicia-se o processo de contaminação do meio, ocasionando, possivelmente, riscos à saúde humana. Por isso afirma-se que vários tipos de substâncias, como cádmio, chumbo, cobre e o arsênio, são capazes de contaminar as águas, afetando todo o ecossistema de uma região e os seres vivos nela presentes.

Assim, o arsênio é uma dessas substâncias que quando lançadas ao meio ambiente pode provocar inúmeros impactos à saúde humana, através do consumo de alimentos e águas contaminadas, ingestão de solo, visto que a sua introdução, em especial no ambiente aquático, está a crescer consideravelmente e pode ser proveniente tanto de fontes naturais como fontes antropogênicas. A presença deste composto nos organismos é capaz de provocar várias

doenças ao ser humano, porém fatores como o tempo de exposição, características de cada organismo, quantidades da substância, dentre outros, são imprescindíveis para tal diagnóstico. Diante do exposto, torna-se clara a necessidade de estudar e de avaliar os riscos causados à saúde humana por meio da ingestão de arsênio.

OBJETIVO DO ESTUDO

Este estudo tem como objetivo principal realizar uma análise dos impactos à saúde, causados pela ingestão de arsênio presente no meio ambiente contaminado e, por conseguinte, a sua exposição na vida dos seres humanos, por meio de cálculos, com valores de referência de estudos anteriores, nos quais verificou-se a concentração de arsênio nas águas superficiais e subterrâneas, assim como em alimentos, especificamente o arroz, na região de Portugal..

1.CAPÍTULO: RECURSOS HÍDRICOS

1.1. A sua importância e distribuição no Mundo.

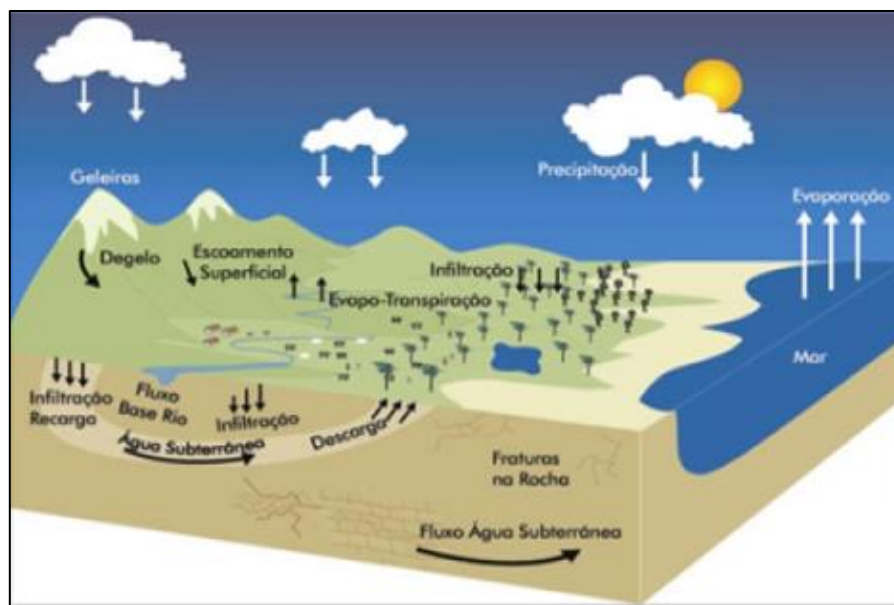
Os recursos hídricos, mais especificamente a água, é considerada de extrema importância para a vida na terra, visto que todos os seres vivos têm como base e necessitam de água para a sua sobrevivência, tanto para um ser de pouca complexidade, como as bactérias, como para um ser de grande complexidade, como é o caso dos seres humanos.

A água apresenta propriedades físicas, químicas e biológicas que a tornam única e singular, primeiro porque é a única substância que pode ser encontrada nos três estados (sólido, líquido e gasoso), além de ser considerada como um solvente universal, ou seja, apresenta uma capacidade elevada de dissolução de substâncias. Por este motivo a água consegue carregar consigo produtos químicos, minerais e nutrientes com muita facilidade. (Conselho Nacional de Águas, 2018).

Segundo Tundisi (2003), “a água é componente fundamental de dinâmica da natureza, impulsiona todos os ciclos, sustenta a vida e é o solvente universal”. Motivo pelo qual torna-se primordial para os processos do ecossistema, através do ciclo hidrológico, e também para as atividades antrópicas, como é o caso da produção de alimento e energia, da agricultura, da indústria e entre outros ramos da sociedade.

O ciclo hidrológico é considerado altamente dinâmico, onde a água passa por todos os estados físicos e apresenta capacidade de se “renovar”. O movimento contínuo da água presente tanto nos oceanos, continentes (solos, superfícies e rochas), quanto na atmosfera são influenciados por diversos fatores, sendo esses: a energia solar, os ventos, a gravidade, processos de infiltração e deslocamento das massas de água, evaporação, precipitação, transpiração das plantas, percolação e drenagem, todas essas etapas fazem com que a água esteja sempre em movimento. Este ciclo é considerado o distribuidor e também purificador de água doce (TUNDISI, 2003).

Figura 1: Exemplificação do ciclo hidrológico



Fonte: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018.

O planeta terra contém cerca de 1.250 milhões km³ de água distribuída por todo o globo, constituídas pelas fases sólida, líquida e gasosa, em constante movimento e armazenada em diferentes reservatórios. Entretanto uma grande percentagem desta água não é potável, visto que 97% encontram-se armazenadas em oceanos, restando apenas 3% de água doce, aproximadamente 35 milhões de quilômetros cúbicos, dos quais uma parte encontra-se na forma sólida (nas geleiras), ou seja, com o seu uso impossibilitado, e apenas 0,3 % do total de recursos de água doce estão disponíveis para serem utilizados pelo homem, armazenados em reservatórios superficiais, como rios e lagos, e reservatórios subterrâneos, como os aquíferos. (TUNDISI, 2003).

Branco também apresenta uma ideia semelhante ao Tundisi, afirmando que a quantidade total de água na Terra é de 1.386 milhões de km³, e que tem permanecido praticamente constante durante os últimos 500 milhões de anos. Considera que 97,5% do volume total de água da Terra formam os oceanos, ou seja, de água salgada, imprópria para consumo e outras atividades antrópicas, caso não haja algum tratamento, e que somente 2,5 % são de água doce, sendo que desta última 74,38% são responsáveis por formar as calotas

polares e as geleiras, 24,99% constituem as águas subterrâneas, 0,60% são relativas à umidade dos solos e pântanos e apenas 0,03% são relativas aos rios e lagos, como mostra o gráfico 1. (BRANCO, 2006).

Então, com o objetivo de obter uma ideia mais clara sobre o percentual de água nos reservatórios, Branco calculou o volume de água em cada tipo de reservatório de acordo com a capacidade de armazenamento, como mostra a Tabela 1.

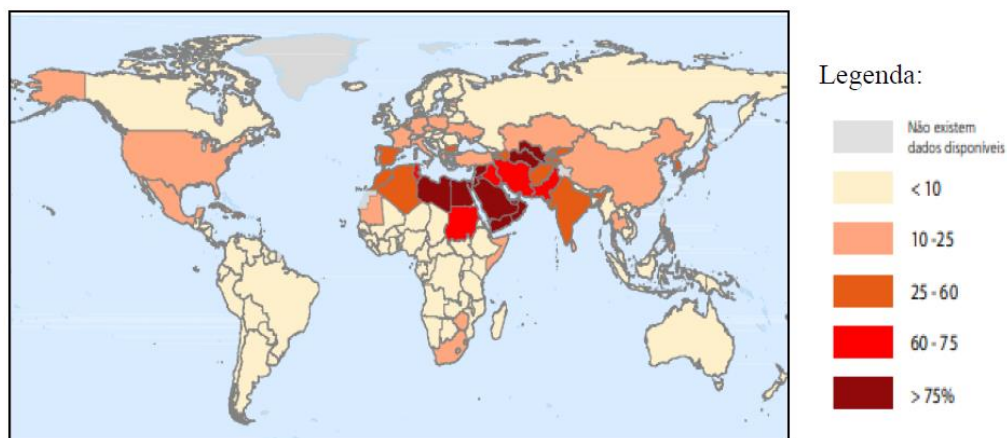
Tabela 1: Distribuição de água no mundo

Reservatórios	Volume (milhões de Km³)	Percentual (%)
Oceanos	1.350,00	97,57
Água doce	33,61	2,5
Geleiras e capotas polares	25,00	74,38
Águas subterrâneas	8,40	24,99
Lagos e rios	0,20	0,03
Atmosfera	0,01	0,60

Fonte: BRANCO, 2006.

Segundo o exposto pelos autores, é correto afirmar que a quantidade de água disposta para consumo humano é consideravelmente baixa em relação ao total existente. Entretanto, a preocupação atual não está ligada somente à quantidade de água potável, e sim à crescente contaminação dos recursos hídricos ocasionada pelas atividades antrópicas poluidoras. Ao se tratar desse fator, é válido ressaltar que a distribuição deste recurso no globo varia de região para região, na qual, em algumas áreas, o volume de água encontra-se abundante e em outras extremamente escassas, o que pode ser observado na figura 2 referente ao no mapa ilustrativo, desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO).

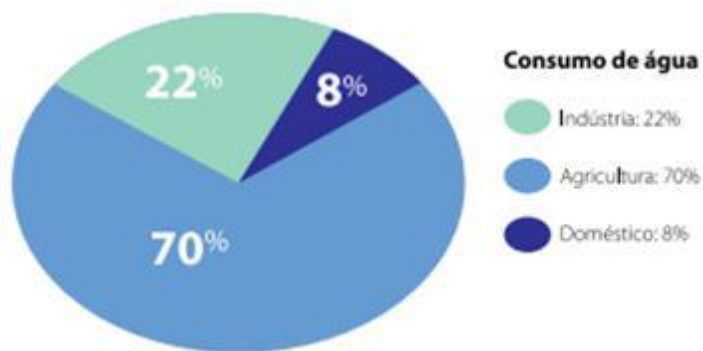
Figura 2: Distribuição de fontes de água no mundo.



Fonte: FAO, 2015.

A água também é distribuída nos diversos setores económicos na sociedade, decorrente da sua grande importância para o bom funcionamento dos processos, divididos basicamente em 3 setores, sendo esses: indústria, agricultura e atividades domésticas no geral, o que é detalhado no gráfico 1.

Gráfico 1: Distribuição da quantidade da água para as atividades humanas



Fonte: FAO, 2015.

1.2. Qualidade das águas para consumo

As legislações no quesito de proteção das águas são consideradas recentes, visto que a primeira foi divulgada em 1976, referente à proteção das águas superficiais de substâncias perigosas. Já em 1980 enfatizou-se nas águas subterrâneas, e somente na década de 90, no ano de 1991, que se desenvolveram as técnicas para o tratamento das águas residuais urbanas. Então a partir deste marco, originou a preocupação com a necessidade de controle integrado da poluição (RODRIGUES, *et al*, 2008).

Os critérios pertinentes para obtenção de uma água com qualidade para consumo humano encontram-se no decreto Lei nº 152/2017 de 7 de dezembro, e apresenta como objetivo principal a “proteção da saúde humana contra efeitos nocivos resultantes da eventual contaminação dessa água e assegurar a disponibilização tendencialmente universal de água salubre, limpa e equilibrada na sua composição” (PORTUGAL, 2017).

No decorrer dos anos, a Organização Mundial da Saúde desenvolveu uma abordagem sobre os planos de segurança da água para a saúde humana, tendo como base a avaliação de risco e os princípios de gestão para obtenção da qualidade da água potável. Então, juntamente com a norma EN 15975-2 (segurança nos sistemas de abastecimento de água para consumo humano), elaboram-se diretrizes que constituem princípios reconhecidos internacionalmente na produção, distribuição, controlo e a análise dos parâmetros da água para consumo humano. Entretanto, os planos para o controlo dos riscos à saúde deve englobar toda a cadeia de abastecimento, desde a captação até o consumo. (Portugal, 2017).

Afirma-se que a presença de substâncias, tanto nas águas subterrâneas como nas superficiais, ocorrem naturalmente, e podem ser encontradas em concentrações aceitáveis para o consumo, classificadas de duas formas; como água potável ou como permissível para consumo. Entretanto, em alguns casos, as concentrações de algumas substâncias podem encontrar-se acima do valor permitido para consumo. Portanto, com o objetivo de controlar as quantidades de substâncias, são elaboradas legislações que estabelecem parâmetros para limitação desses valores, a definir o que pode ser ou não admissível, juntamente com a definição, atribuições e competências da entidade gestora das águas.

De modo geral, os mecanismos das entidades gestoras apresentam um resultado satisfatório, tanto no cumprimento da frequência de amostragem das águas, quanto no

cumprimento dos termos dos valores paramétricos, nos quais estão presentes os níveis admissíveis para as substâncias presentes na água (PORTUGAL, 2017). Entretanto, nota-se que, em algumas regiões de Portugal, há uma carência de consumo de água de qualidade, sendo as áreas de interior que apresentam insuficiência de recursos humanos, técnicos e financeiros.

Em virtude dos valores admissíveis adotados pela legislação pode-se classificar a água de acordo com o seu grau de contaminação, através da comparação das concentrações reais da água com as dos parâmetros regulamentados, a obter então o grau da qualidade da água. Apresentado na tabela 2

Tabela 2: Classificação das águas para as concentrações de substâncias.

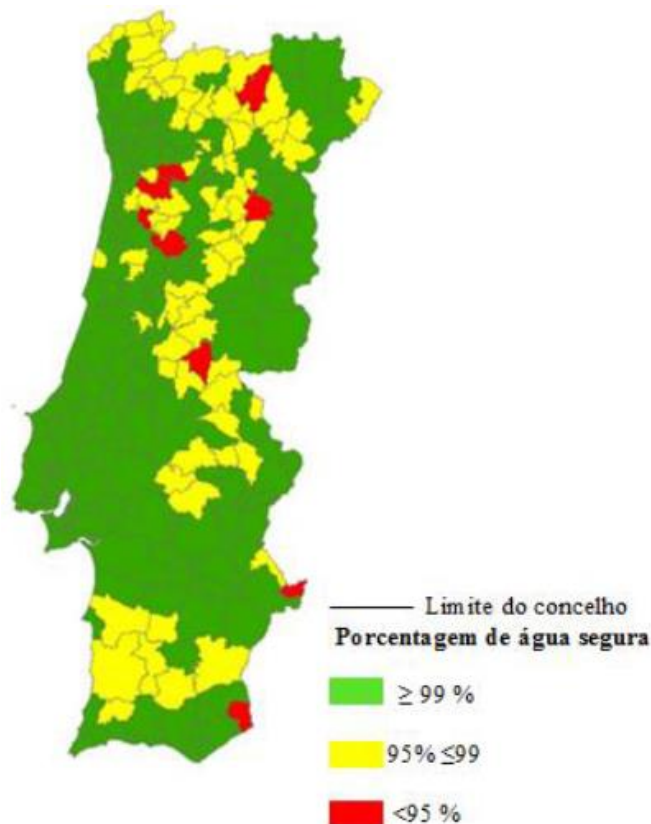
Parâmetro	Classe	A (Sem poluição)	B (Fracamente poluído)	C (Poliuído)	D (Muito Poliuído)	E (Extremamente Poliuído)
pH		6,5 - 8,5	.	6,0 - 9,0	5,5 - 9,5	5,0 - 10,0
Condutividade		<=750	751 -1000	1001 - 1500	1501 - 3000	>3000
SST	mg/l	<=5,0	25,1 - 30,0	30,1 - 40,0	40,1 - 80,0	>80,0
S at OD	%	>=90	89 -70	69 -50	49 - 30	<30
CBO5	mgO2/l	<=3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 8,0	8,1 - 20,0	>20,0
CQO	mgO2/l	<=10,0	10,1 - 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 80,0	>80,0
Oxidabilidade	mgO2/l	<=3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 10,0	10,1 - 25,0	>25,0
Azoto Amonical	mg NH4/l	<=0,10	0,11 - 1, 00	1,10 - 2,00	2,01 - 5,00	>5,00
Nitratos	mg NO3/l	<=5,0	5,0 - 25,0	25,1 - 50,0	50,1 - 80,0	>80,0
Nitritos	mg NO2/l	<=0,01	0,011 - 0,020	0,021 - 0,15	0,16 - 0,3	>0,3
Fosfatos	mg P2O5/l	<=0,40	0,41 - 0,54	0,55 - 0,94	0,95 - 1,00	>1,00
Coliformes totais	100ml	<=50	51 - 5000	5001 - 50000	>50000	.
Coliformes fecais	100ml	<=20	21 - 2000	2001 -	>20000	.

				20000		
Estreptococos fecais	100ml	≤ 20	21 - 2000	2001 - 20000	> 20000	.
Ferro	mg/l	$\leq 0,50$	0,51 - 1,00	1,10 - 1,50	1,50 - 2,00	$> 2,00$
Manganês	mg/l	$\leq 0,10$	0,11 - 0,25	0,26 - 0,50	0,51 - 1,00	$> 1,00$
Zinco	mg/l	$\leq 0,30$	0,31 - 1,00	1,01 - 3,00	3,01 - 5,00	$> 5,00$
Cobre	mg/l	$\leq 0,020$	0,021 - 0,05	0,051 - 0,200	0,0201 - 1000	$> 1,00$
Crômio	mg/l	$\leq 0,010$	.	0,011 - 0,010	.	$> 0,050$
Selênio	mg/l	$\leq 0,005$	.	1,1 - 5,0	.	$> 0,010$
Cádmio	mμ/l	$\leq 1,0$	.	0,051 - 0,100	.	$> 5,0$
Chumbo	mg/l	$\leq 0,050$	.	0,51 - 1	.	$> 0,100$
Mercúrio	mμ/l	$\leq 0,50$	.	.	.	> 1
Arsênio	mg/l	$\leq 0,010$	0,011 - 0,050	0,011 - 0,050	0,051 - 0,100	$> 0,100$
Cianetos	mg/l	$\leq 0,010$	.	5,1 - 10	.	$> 0,050$
Fenóis	mμ/l	≤ 1	1,1 - 5,0	.	11-100	> 100
Agentes Tensioactivos	mg/l	≤ 2	.		.	$> 0,50$

Fonte: RODRIGUES *et al*, 2008.

A fim de constatar a qualidade da água em Portugal, a ERSAR constantemente coleta e analisa amostras para verificar se o parâmetro de potabilidade para o consumo humano está de acordo com o desejado. Diante disso, foi elaborado um esquema para observar mais especificamente a situação da qualidade da água nas regiões do país, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Percentagem de água potável dentro de Portugal.



Fonte: ERSAR, 2018

A Organização Mundial de Saúde afirma que água potável segura é aquela que se encontra dentro dos parâmetros classificados pela legislação pertinente e não representa risco para a saúde ao longo de toda a vida, mesmo em casos de pessoas que apresentam mais sensibilidades a certos fatores, como no caso das crianças (até os 5 anos), idosos, e pessoas com doenças crônicas. (WHO, 2011).

Entretanto, este cenário ideal de qualidade de água para consumo humano em todas as partes do mundo ainda não está em vigor, e, para isso, a organização mundial de saúde criou diretrizes que indicam as recomendações necessárias para o gerenciamento do risco frente à periculosidade da qualidade da água. Dessa forma, é de essencial importância que todos tenham acesso à água potável segura, pois resultará uma melhor qualidade de vida, diminuindo a probabilidade de ocorrência de doenças provenientes dessa fonte, considerando que também

há outras fontes que são capazes de contaminar os seres humanos, como por exemplo: a má gestão dos resíduos, alimentos, utilização de produtos químicos e entre outras. (WHO, 2011).

1.3. Poluição das Águas.

A água doce, a mais indicada na utilização para consumo humano, encontra-se armazenada nos reservatórios tanto superficiais quanto subterrâneos. O primeiro tipo de reservatório está mais susceptível à contaminação das águas do que o segundo, pois o subterrâneo apresenta características específicas que são capazes de filtrar uma grande quantidade de substâncias possivelmente poluidoras, todavia, não significa que este não esteja sujeito a contaminação, e caso ocorra, o seu tratamento é mais difícil e dispendioso.

No intuito de proteger as águas, foram estabelecidos regulamentos que auxiliam na prevenção da qualidade desta fonte de consumo, de acordo com o Decreto-Lei nº 382/99, no qual a sua proteção sinaliza um objetivo de estratégia no desenvolvimento, equilibrado e duradouro, da sociedade. Um exemplo deste mecanismo é a delimitação de perímetros de protecção para captação destinada ao abastecimento público (Portugal, 1990)

Partindo do princípio de que a água apresenta característica e composição natural própria, contendo substâncias e minerais essenciais para vida dos animais, entende-se que o processo de contaminação das águas ocorre a partir do momento em que, no meio aquático, essas substâncias encontram-se em uma parcela maior do que a aceitável. E, quando a água passa a ser contaminada, a sua utilização direta (sem tratamento) fica impossibilitada, a não ser que seja realizado um processo de descontaminação, o que muitas vezes não é vantajoso devido aos gastos do processo de tratamento, caso contrário o seu consumo poderá acarretar na predicação do bem estar dos seres vivos. Entre as causas mais comum de poluição das águas estão: os dejetos humanos e industriais e o uso de produtos químicos e radioativos

Com o objetivo de controlar e diminuir os quadros de contaminação, tornou-se necessário a criação de legislações que estabeleçam as quantidades admissíveis de compostos para os tipos de utilização da água, para que assim não haja risco a vida.

A Lei n.º 19/14, de 14 de Abril apresenta o seguinte princípio geral: “Todos os cidadãos têm direito a um ambiente humano e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender, incumbindo ao Estado, por meio de organismos próprios e por apelo a iniciativas populares e comunitárias,

promover a melhoria da qualidade de vida, quer individual, quer coletiva”. (PORTUGAL, 2014).

A Lei nº. 6.938/81 explana que a poluição pode ser definida como uma a degradação da qualidade ambiental proveniente de diversas atividades, podendo ser diretas ou indiretas, que possam prejudicar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, e alterar o ecossistema, afetando a biota, além de interferir nas atividades sociais e econômicas, nas condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente ou que lancem matérias ou energia fora do padrão estabelecido. (BRASIL, 1981).

De acordo com legislação Portuguesa, a Portaria Nº 2.914/2011 afirma que o limite máximo de arsênio permissível nas águas subterrâneas é de 10 µg As/L, assim como em grande parte dos países europeus. Estes valores vão depender de cada país e das suas legislações, visto que os países como Bangladesh, Índia, China e Mongólia, entre outros países asiáticos, apresentam um limite de 50 µg As/L, já o Canadá é de 25 µg As/L (CORREIA, 2008).

1.4. Acesso à Água Potável.

A obrigatoriedade de um consumo de água potável por toda a população deveria ser um tópico não discutido, em razão da sua obviedade e necessidade, entretanto o número de pessoas sem acesso à água potável em todo mundo ainda é alarmante. Segundo WHO e a UNICEF há aproximadamente 884 milhões de pessoas sem acesso à água de boa qualidade.

É válido ressaltar a necessidade do tratamento prévio de água para consumo advindo de qualquer fonte, seja superficial ou subterrânea, no intuito de garantir a segurança e que não apresente risco perante a sociedade. Visto que uma água com baixa qualidade pode apresentar características contaminantes tanto microbiológica, química, física ou até mesmo radioativa

Os serviços públicos de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais são estruturais no desenvolvimento das sociedades modernas. São serviços essenciais ao bem-estar geral, à saúde pública e à segurança colectiva das populações, às actividades económicas e à protecção do ambiente e devem pautar-se por princípios de universalidade no acesso, de continuidade e qualidade de serviço e de eficiência e equidade dos preços (PATO, 2011).

Acrescenta-se também que o saneamento básico está ligado a diversos fatores que em conjunto incorpora a qualidade de vida aos indivíduos, sendo esses: abastecimento de água, esgotamento sanitário, disposição de resíduos sólidos e drenagem urbana. Apesar de o saneamento ser um fator fundamental para o desenvolvimento da melhoria das condições de vida da população, não é considerado como sendo o único fator, pois as questões sociais são pontos que ainda pesam ao se tratar no desenvolvimento social.

“O saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental” (Guimarães; Carvalho e Silva, 2007).

De acordo com PATO (2011), ainda é grande a parcela da população em Portugal sem condições de saneamento adequadas, e esta situação se torna mais alarmante quando

observa-se a população do campo, onde a maior parte utiliza de mecanismos “caseiros” para suprir as necessidades de saneamento básico, utilizando, por exemplo, captação de fontanários construídos sem os cuidados necessários, e também instalações sanitárias pouco salubre, como é melhor explanado na tabela 3:

Tabela 3: Percentagem de população servida com sistemas de águas e esgotos em Portugal.

	População servida (%)
Distribuição domiciliária de água	40
Distribuição por fontanários	26
Sem acesso a sistemas de distribuição	33
Acesso a redes de esgoto	17
Sem acesso a redes de esgotos ou fossas coletivas	83

Fonte: PATO, 2011

De acordo com os estudos realizados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), a grande parte das doenças que se expandem pelo mundo e principalmente pelos países em desenvolvimento são provenientes da água de má qualidade, devido à ingestão direta de água e de alimentos, e também pelo contato no uso na higiene pessoal e no lazer, na agricultura e na indústria. (RIBEIRO E ROOKE, 2010).

Visto que a água de qualidade canalizada está contida dentro do saneamento, pode-se afirmar que: a falta de saneamento é um dos principais fatores causadores de morte a um número anual estimado em 1.5 milhões de crianças menores de cinco anos (WHO e UNICEF, 2015). Logo, torna-se claro a necessidade de mudar este cenário e, em razão disso, os órgãos responsáveis constantemente desenvolvem projetos que têm como meta aumentar o número de pessoas que tenham acesso à água potável em suas casas.

Os mecanismos para obtenção da água nas tubulações das casas disponibilizados por esses órgãos possuem certos custos de instalação e de manutenção e, por este motivo, algumas pessoas optam pela não utilização dos serviços públicos, por não possuírem condições financeiras ou simplesmente por não terem noção da importância do consumo de uma água de qualidade e acabam por não querer arcar com os custos, e então o desenvolvimento da qualidade de vida entra em confronto com o fator econômico.

Portanto, segundo WHO e UNICEF (2012), 89% da população mundial consome água potável, a partir de fontes melhoradas, nas quais estão inclusas ligações canalizadas de água tratada, fontanários públicos e poços protegidos, porém o seu consumo é feito sem nenhuma verificação da real qualidade das águas, sendo capaz de acarretar problemas à saúde, já que podem apresentar parâmetros de contaminação, como por exemplo: conter metais pesados, matérias orgânicas, pesticidas, detergentes e entre outros, provenientes de diversas fontes.

Ao considerar todos os fatores de possível contaminação da água e, por conseguinte da saúde humana, torna-se indispensável a elaboração de uma gestão de risco, visto que é possível analisar os perigos associados à ingestão de água poluída, a partir de recolha e análise de dados, fazendo necessário o conhecimento da fonte de captação e da sua qualidade, passando pelo transporte da água até chegar ao consumidor, seguido de acompanhamento periódico dessas análises (WHO, 2006). Além disso, é fundamental que seja garantida a qualidade da água e segurança do seu abastecimento, criando métodos de controle para detecção e retirada de substâncias e materiais indesejáveis, como: constituintes microbiológicos, físicos, químicos e radiológicos, causadores de perigos para a saúde humana, através das análises realizadas periodicamente nas águas, comparando com os limites dos parâmetros permissíveis da legislação pertinente. (VIEIRA E MORAIS, 2005). Entretanto, todos esses mecanismos de controlo só ocorrem para águas que são distribuídas pelas concessionárias, o que levanta a questão de que as pessoas que utilizam água provenientes de outras fontes, poderão estar expostas a possíveis riscos de contaminação.

2.CAPÍTULO: CONTAMINANTES DAS ÁGUAS

2.1. Substâncias contaminadoras

Existem quatro classes de contaminantes presentes na água que podem ser prejudiciais à saúde dos seres vivos, sendo esses: microbiológico, químicos, físicos e os emergentes. Os microbiológicos, como o próprio nome diz, são causados por agentes microbiológicos, como bactérias, fungos e protozoários. Já os físicos e químicos, são causados por substâncias químicas orgânicas e inorgânicas, capazes de alterar o estado natural da água. Esses três primeiros são contemplados nas legislações pertinentes, ao contrário dos contaminantes emergentes que ainda não estão inclusos nas normas, são representados, por exemplo, pelos produtos farmacêuticos e produtos de uso pessoal, e são totalmente indicadores de atividade antrópica, como subprodutos industriais, esteroides e hormônios (ARIAS, 2013).

Assim, de acordo com o que foi explanado anteriormente, as águas possuem naturalmente algumas substâncias que podem ou não ser prejudicial à saúde e o que vai classificar o seu grau de contaminação é quando o valor limite (quantidade) é extrapolado no meio. Por essa razão são apresentados na Tabela 4 alguns potenciais contaminantes com os seus valores limites máximo permissíveis.

Tabela 4: Substâncias físico-químicas e os valores máximos permissíveis.

Substâncias	Características	VMP
Alumínio	Inorgânica	0,2 mg/L
Arsênio	Inorgânica	0,01 mg/L
Bário	Inorgânica	0,7 mg/L
Cádmio	Inorgânica	0,005 mg/L
Cromo	Inorgânica	0,05 mg/L
Cobre	Inorgânica	2,0 mg/L
Chumbo	Inorgânica	0,01 mg/L
Ferro	Inorgânica	0,3 mg/L
Magnésio	Inorgânica	-
Manganês	Inorgânica	0,1 mg/L
Mercurio	Inorgânica	0,001 mg/L
Selénio	Inorgânica	0,01 mg/L
Sódio	Inorgânica	200 mg/L
Cloretos	Inorgânica	250 mg/L
Fluoretos	Inorgânica	1,5 mg/L
Nitratos	Inorgânica	10 mg/L
Sulfatos	Inorgânica	250 mg/L

Benzeno	Orgânica	5 mg/L
Tetracloroeto de Carbono	Orgânica	4 mg/L
Clordano	Orgânica	0,2 mg/L
1-2 Diclobenzeno	Orgânica	0,01 mg/L
Diclorometano	Orgânica	20 mg/L
Endotal	Orgânica	30 mg/L
Endrin	Orgânica	0,6 mg/L
Etilbenzeno	Orgânica	0,2 mg/L
Gisfosfato	Orgânica	500 mg/L
Lindano	Orgânica	500 mg/L
Metoxiclor	Orgânica	0,0002 mg/L
Simazina	Orgânica	2 mg/L
Tolueno	Orgânica	0,17 mg/L
Xileno	Orgânica	0,3 mg/L
Triatometano	Orgânica	0,1 mg/L

*VPM: Valores máximos permissíveis

Fonte: Adaptado da PORTARIA Nº 2.914/2011 do MINISTÉRIO DA SAÚDE

A partir do momento em que as quantidades dessas substâncias ultrapassam o valor máximo permissível, inicia o impacto ao ecossistema e ao ser vivo, principalmente à saúde humana. Cada substância apresenta suas características específicas e por isso atingem ao organismo humano de forma diferente, acarretando em vários tipos de doenças e anomalias.

2.2. Arsênio

O arsênio (As) é o vigésimo elemento mais abundante na crosta terrestre, encontra-se naturalmente distribuído na natureza e é considerado um metaloide com propriedades intermediárias, visto que apresenta características tanto dos metais como dos não-metais. Está presente em vários depósitos minerais, na forma de arsenopirita (FeAsS) e pirita arsenífera, além também de ser encontrado na forma organarsênico, como formas metiladas, acidomonometilarsênico e ácido dimetilarsênico. De modo geral, o elemento pode ser encontrado nos solos, nas rochas, nas águas e nos organismos. Entretanto, a sua emissão ao meio é ocasionada de várias formas: a primeira sendo natural, como pelas atividades vulcânicas que liberam As por toda a atmosfera; e a segunda de forma artificial, através das atividades mineiras e industriais, como é o caso da indústria metalúrgica, que emite através da fundição de metais não-ferrosos, e também pelo despejo de forma irregular de produtos que contenham arsênio, atingindo diretamente o meio de contato com o produto. Além de outras atividades como a queima de combustível fóssil, que libera o contaminante para atmosfera, e também na utilização de alguns pesticidas com capacidade de contaminar o solo e afetar diretamente na qualidade dos produtos agrícolas. (SILVA, 2016)

O As pertence ao grupo 15 da Tabela Periódica e, em sua forma mais estável apresenta densidade de $5,93 \text{ g cm}^{-3}$, o seu número atômico é 33 e a sua massa molar é de $74,922 \text{ g mol}^{-1}$. Apesar de ser um elemento que está presente em toda a crosta terrestre como já foi citado anteriormente, o arsênio elementar é raro, assim na maioria das vezes, encontra-se combinados como o oxigênio (O), o cloro (Cl) e enxofre (S), na forma inorgânica (Asi) ou ligado ao carbono (C) e o hidrogênio (H), especificado na tabela 5. (ATSDR, 2007)

“Na perspectiva biológica e toxicológica o arsênio é dividido em 3 grandes grupos, sendo eles: compostos de arsênio inorgânico (arsenite and arsenic trichloride, arsenic acid e arsenates), compostos de arsênio orgânico (arsanilic acid, methylarsonic acid, dimethylarsinic acid e arsenobetaine) e arsênio na forma de gás”. (WHO, 2000)

Tabela 5: Componentes de arsênio

Nome químico	CAS. Reg.No.	Fórmula
Acido arsanílico	98 - 50 - 0	$C_6H_8AsNO_3$
Arsenico	7440 - 38 - 2	As
Pentóxido arsênico (V)	1303 - 28 - 2	As_2O_5
Sulfureto arsênico (III)	12303 - 33 - 9	As_2S_3
Tricloreto arsênico (III)	7784 - 34 - 1	$AsCl_3$
Trióxido arsênico (III)	1327 - 53 - 3	As_2O_3
Arsenobetaine	64436 - 13 - 1	$C_5H_{11}AsO_2$
Arsine	7784 - 42 - 1	AsH_3
Arseniato de cálcio	7778 - 44 - 1	$(AsO_4)_2 \cdot 3Ca$
Ácido dimetilarsinic	75 - 60 - 5	$C_2H_2AsO_2$
Arsenato de chumbo	7784 - 50 - 9	$HAsO_4 \cdot Pb$
Sal dissódico do ácido metilarônico	144 - 21 - 8	$CH_3AsO_3 \cdot Na$
Sal monossódico do ácido metilarônico	2163 - 80 - 6	$CH_4AsO_3 \cdot Na$
Arsenato de Potássio	7784 - 41 - 0	$H_2AsO_4 \cdot K$
Arsenito de potássio	13464 - 35 - 2	$AsO_2 \cdot K$
Arseniato de sódio	7631 - 89 - 2	$H_2AsO_4 \cdot Na$
Arsenito de sódio	7784 - 46 - 5	$AsO_2 \cdot Na$
Cacodilato de sódio	124 - 65 - 2	$C_2H_6AsO_2 \cdot Na$

Fonte: Adaptado de IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER

De acordo com ABONGA (2012), há varias características que influenciam a mobilidade, a solubilidade e a toxicidade do arsênio, uma delas é a sua especiação, ou seja, a distribuição de um elemento em um sistema, considerando as suas diferentes espécies químicas. Outros fatores influenciadores são: o estado de oxidação e as condições de oxidação-redução que afetam, como por exemplo, o pH do meio, entretanto este fator está mais ligado com a característica de toxicidade.

É válido ressaltar, que, diferentes de outras substâncias, o arsênio na sua forma inorgânica é que apresenta maior grau de toxicidade, como é o caso do composto AsIII que é mais tóxico que o composto AsV, sendo que a forma arsina (AsH_3) é a que apresenta a maior

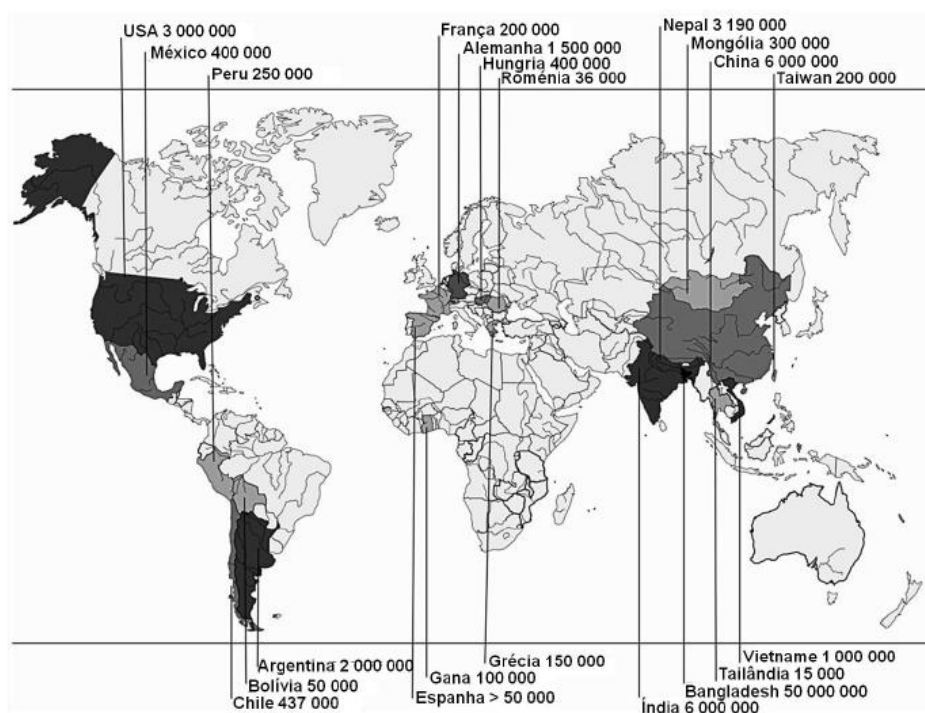
toxicidade, porém, devido a sua característica de volatilização, não se associa a concentrações capazes de contaminação. (ATSDR, 2007).

Desde a antiguidade, o arsênio é utilizado de múltiplas formas, pelos os mais diversos setores de produção, como no tratamento de madeira, já que é capaz de combater insetos, bactérias e fungos presentes, devido a sua toxicidade, porém esta técnica foi abolida por conta da possível contaminação causada pela liberação deste composto, aumentando o risco principalmente de casos de combustão. Outras utilizações do arsênio que foram abolidas são: a aplicação em pesticidas, em pigmentos de tintas e nas rações para gado para estimular o crescimento e prevenção de doenças. (ALEGRE, 2012.). De acordo com o IARC o uso do arsênio no cotidiano da vida humana está distribuído nos mais variados setores e processos, tendo sido produzido e comercializado por séculos.

2.3. Presença de Arsênio na água do mundo

O hidroarsenismo nome dado à poluição provocada pelo arsênio nas água, hoje é considerado como um problema sanitário internacional, visto que o composto está presente em todos as regiões do mundo, a ressaltar que, em algumas localidades, as suas quantidades são mais significativas do que em outras. Assim sendo, a necessidade de uma maior atenção para esta problemática iniciou-se, principalmente depois da situação alarmante de intoxicação que ocorreu em Bangladesh e Índia, onde a água contaminada por arsênio afetou milhares de pessoas, acarretando inúmeras consequências à saúde devido às características naturais. Também, na grande maioria dos casos, pela influência externa (atividades antrópicas), alguns continentes apresentam índices mais elevados de pessoas expostas por água contaminada contendo taxas de As acima do permitido pela legislação (Lièvrement et al., 2009). A Figura 4, apresenta o cenário desta contaminação, no ano de 2009, considerando que as regiões mais escuras são as que mais são afetadas pelo hidroarsenismo.

Figura 4: Pessoas afetadas pela água contaminada por arsênio.

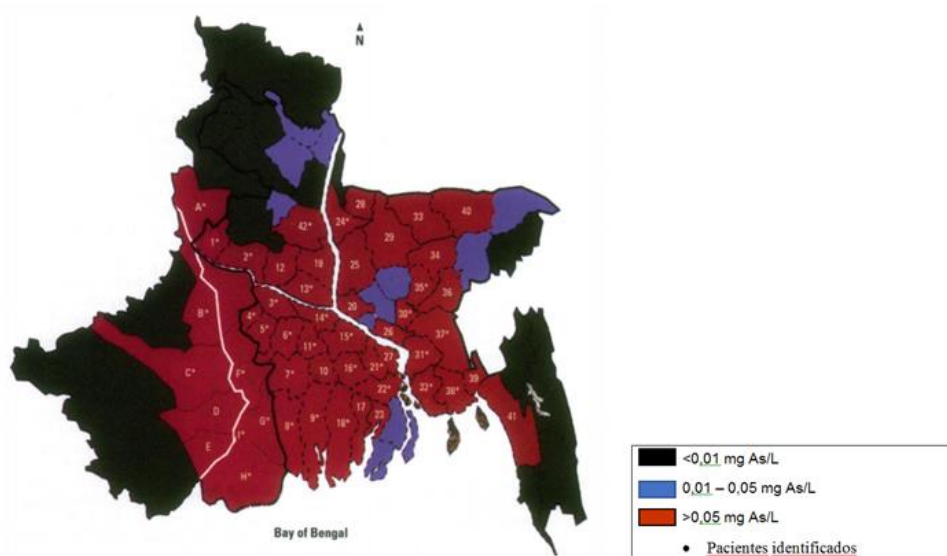


Fonte: ALEGRE, 2012.

Deste modo, Bangladesh, país situado no sudeste asiático, é considerado como um dos países mais pobres e populosos do mundo, e atualmente é conhecido principalmente por ser alvo de uma das maiores tragédias por envenenamento, ocasionado por água contaminada. Na década de 70, o governo desse país, com o apoio do Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef), criou um programa com a finalidade de desenvolver a questão sanitária no país, projeto esse baseado na instalação de 10 milhões de poços tubulares para fornecimento de água subterrânea que, teoricamente, seria de qualidade para população, com o objetivo de controlar os casos de cólera e disenteria causados pelo consumo da água superficial sem tratamento. Todavia os órgãos responsáveis não realizaram nenhuma pesquisa de controle de qualidade das águas subterrâneas, antes de permitir o devido consumo, e esta apresentava quantidade de arsênio acima do permitido, e, de acordo com estudos realizados nesta localidade foi possível atestar que em cada cinco mortes uma estava relacionada com a concentração de mais de 10 microgramas de arsênio por litro de água. (SMITH, et al, 2000).

Com a finalidade de afirmar a má condição da água de consumo nessas localidades, os autores Chakraborti et al (2000) elaboraram pesquisas e detectaram que aproximadamente 5 milhões de pessoas consomem água contendo mais de 50 µg/L de arsênio, e em média de 300 mil pessoas apresentam lesões na pele. A figura 5 representa o nível de concentração de arsênio detectado em Bangladesh.

Figura 5: Concentração de arsênio por região em Bangladesh.



Fonte: CHAKRABORTI *et al* (2000).

Além de Bangladesh, outros países também são alvo da contaminação das águas por arsênio: o Vietnã, regiões andinas da América Latina (caso apresentado em Córdoba na Argentina), onde a concentração de arsênio nas águas subterrâneas chega a ultrapassar os 3,4 mg/L, e também na Nova Zelândia, Roménia, Federação Russa e EUA onde os valores detectados são entre 0,4 e 1,3 mg/L. (DUARTE *et al*, 2009).

2.4. Presença de Arsênio na água de Portugal

A presença de arsênio nas águas portuguesas também pode ser considerada como uma situação preocupante. Para isso, adotou-se a legislação europeia que indica o valor máximo permitido de As em água seja de 10 µg/L, considerando uma dose diária admissível (DDA) de consumação por uma pessoa de 0,0104 mg As/Kg massa corporal/dia proveniente tanto da água quanto de alimentos. (ALEGRE, 2012)

Obtém-se uma média geral que nas águas superficiais o valor de As seja de 0,060 mg/L, já nas águas subterrâneas cerca de 0,800 mg/L, dando destaque para algumas regiões que apresentam este valor mais elevado que em outras, como: na região de Tras-os-Montes e Alto Douro, devido a presença significativa de minerais de quartzo com enxofre, também na região do Minho, Beiras, Ribatejo e Alentejo. Diante desse cenário notou-se a necessidade de se realizar estudos epidemiológicos contínuos, apresentando como resultado a ingestão de água com concentrações de arsênio entre 0,010 e 0,050 mg/L. (DUARTE *et al*, 2009). Além das zonas como Concelho de Pombal, na Freguesia Vieira de Leiria, no Concelho de Vila Flor (540 µg/L), em Benlhevai (330 µg/L), em Ponte de Sôr (76 µg/L), Alpiarça, Évora, Vila Franca de Xira, Barcelos, Concelho de Baião, Distrito de Santarém, Concelho de Alandroal e Concelho de Ponte de Sôr. (ALEGRE, 2012).

De acordo com Alegre (2012), há uma grande concentração de arsênio nas águas portuguesas, principalmente nas regiões mais ao norte, devido a suas características geológicas. Entretanto deve-se ter consideração que a presença de arsênio nas águas pode ser proveniente tanto de origens naturais, como é o caso do conselho de Bragança, como de origem artificial, como ocorre no sul do Porto, consequência mais especificamente das indústrias químicas de Estarreja presente neste sítio.

A Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (2018) elabora todo ano relatórios de qualidade de água, usando como fonte as análises realizadas em algumas localidades de Portugal, obtendo então dados que classificam a água como sendo de boa ou de má qualidade, através da comparação dos valores paramétricos com o real encontrado no sítio de cada substância, e considerando que o foco do trabalho é a presença do arsênio nas águas. A tabela 6 mostra a comparação desses dois tipos de água encontrados em Portugal continental.

Tabela 6: Comparação da qualidade da água de Portugal referente à presença de arsênio.

Qualidade da água na presença de Arsênio ($\mu\text{g/l As}$)	Valor paramétrico	Valor mínimo	Valor máximo	% de análises realizadas	% de água segura
Alta qualidade (segura)	10	<0,1	10,2	100	100
Baixa qualidade (insegura)	10	<0,1	310	99,84	97,76

Fonte: Adaptado da ERSAR, 2018.

O cálculo para obter o resultado da qualidade da água para assim classifica-la como segura é realizado através “do produto da percentagem de análises realizadas pela percentagem de análises em cumprimento do valor paramétrico fixado na legislação, tal como definido no Anexo II do Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto”. (ERSAR, 2018). Com objetivo de indicar a percentagem do índice de água segura, conforme demonstrado na tabela 7.

Tabela 7: Indicação da qualidade da água

Condição	Análises realizadas (%)	Análises em cumprimento do valor paramétrico (%)	Água segura (%)
Sem risco	100 %	$\geq 99\%$	$\geq 99\%$
Risco moderado	<100% e $\geq 95\%$	<99% e $\geq 95\%$	<99% e $\geq 95\%$
Risco alto	<95%	< 95%	< 95%

Fonte: Adaptado da ERSAR, 2018.

Com o objetivo de monitorar a quantidade de arsênio presente no meio ambiente em algumas regiões de Portugal, utilizou-se um sistema de avaliação da quantidade presente nos líquenes *Parmelia sulcata*, que são considerados como indicadores natural de presença de As, e nos solos, acarretando na alterações das características naturais dos aquíferos da redondeza, situados nas árvores de oliveiras, visto na figura 6 (ALEGRE, 2012).

Figura 6: Disponibilidade de arsênio em Portugal.



Fonte: FIGUEIRA *et al*, 2007

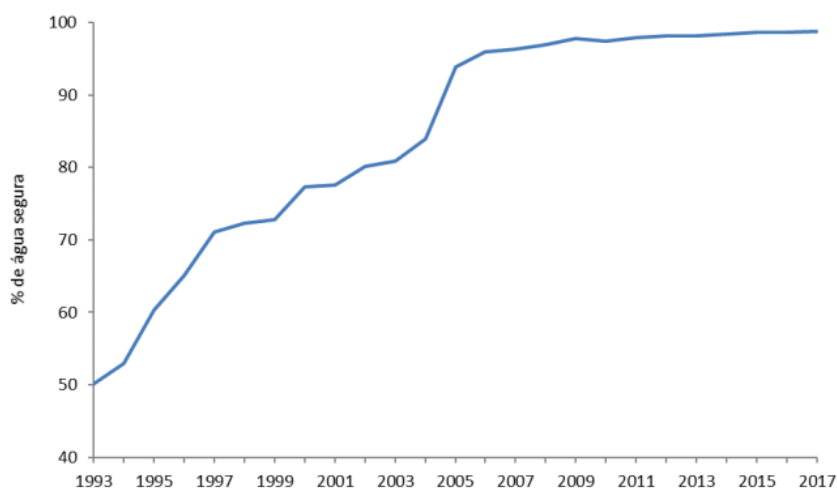
Como pode ser observado no mapa, algumas regiões apresentam uma maior concentração de contaminação nas águas pelo composto, devido principalmente por crimes ambientais, que se caracterizam por despejos indevidos de efluentes contendo substâncias perigosas no meio sem qualquer cuidado. Tendo como exemplo um caso das minas das Panasqueira, localizada no Cabeço do Pião e Barroca Grande, no Concelho do Fundão, onde era realizado extracção de volfrâmio, ocasionando no despejo de mais de 400 toneladas de arseno-pirite (FeAsS) por um determinado período, contaminando as águas da localidade (Rio Zêzere), e por consequência provocou um alto risco para a população residente. Além disso, o Rio Zêzere abastece a Albufeira de Castelo do Bode, e este fornece a água para os sistemas do Concelho de Abrantes e da Empresa Portuguesa das Águas Livres (EPAL), responsável por distribuir para 34 municípios de Lisboa. (ALEGRE, 2012).

Por isso é de extrema importância a implementação das diretrizes responsáveis pelo controlo de presença e de quantidade de As nos aquíferos, principalmente aqueles que são

responsáveis pelo abastecimento das águas de consumo, para garantir a segurança da população.

Contudo, é válido ressaltar que, ao longo dos anos, as políticas públicas referentes à distribuição de uma boa qualidade de água vêm crescendo. De acordo com a comparação realizada pela Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (2018), publicada no Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal de 2018, em comparação com alguns anos atrás, o cenário de Portugal atingiu uma melhora considerável, visto que em 1993 o indicador de qualidade da água nas torneiras dos consumidores portugueses era de apenas 50%. No ano de 2017, este índice saltou para cerca de 99% como é apresentado no gráfico 2. A melhoria na qualidade da água está altamente ligada por sistema integrado rigoroso, composto pela aplicação das legislações por todos os órgãos competentes, sendo esses: ERSAR, entidades gestoras, autoridades de saúde e laboratórios, acarretando na confiabilidade nos resultados analíticos finais.

Gráfico 2: Comparação do índice da distribuição de água segura.



Fonte: ERSAR, 2018

Estima-se que no ano de 2017 houve uma queda de municípios de Portugal que apresentam na sua totalidade 100 % de água segura, “passando de 41 para 34: 11 estão localizados na região Norte, 11 no Centro, 2 na região de Lisboa, 8 no Alentejo e 2 no Algarve.” (ERSAR, 2018).

2.5. Presença de arsênio nos alimentos

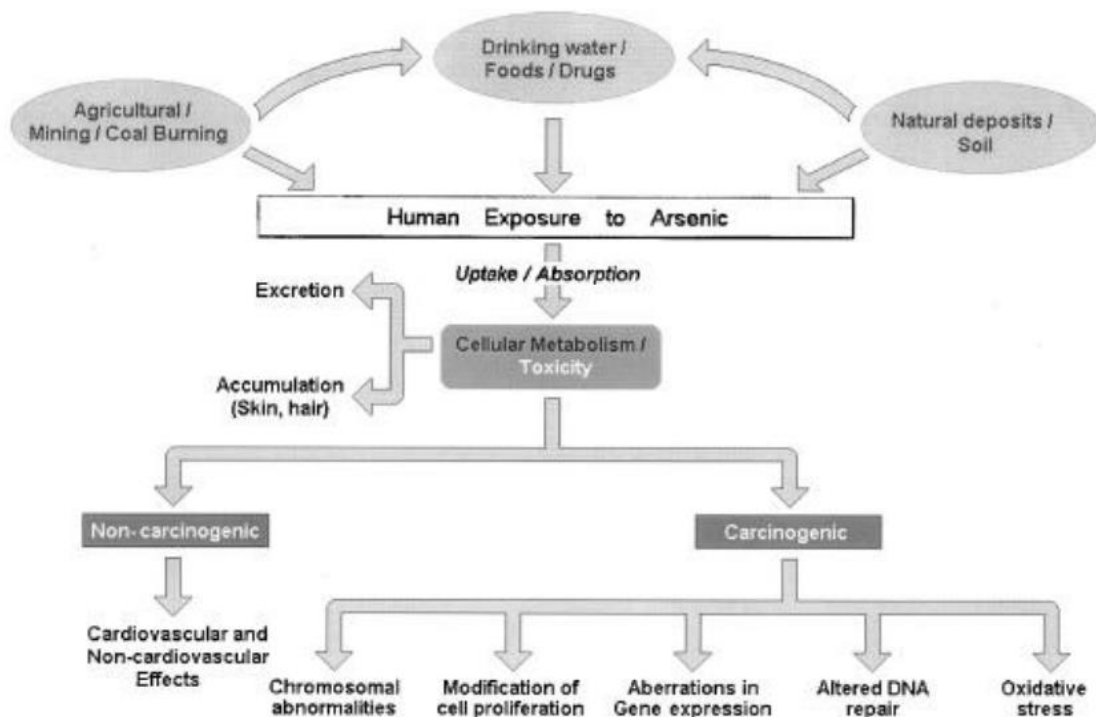
Apesar de se considerar que a ingestão de água contendo As é a que apresenta maior risco de contaminação, principalmente pelo fato de nela conter arsênio na forma inorgânica (mais tóxico), a ingestão deste composto nos alimentos não pode ser descartada, pois a predominância de arsênio nos alimentos é na forma orgânica, como: a metilada, arsenobetaina ou arseno-açúcares, podendo também ser encontrados os compostos As(III) e As(V) (inorgânicos).

De uma maneira geral, o arsênio presente nos alimentos encontra-se nas formas orgânicas, sendo a toxicidade dessas espécies relativamente baixa. No entanto, as espécies inorgânicas tóxicas, como As(III) e As(V), também podem ser encontradas nos alimentos. (ALEGRE, 2012).

“De entre os alimentos que contêm arsênio, quer seja orgânico ou inorgânico, estão o leite e derivados, óleos e gorduras, frutos e vegetais, cereais e produtos de padaria, carne e miúdos, bivalves, cefalópodes e crustáceos, ovos, bebidas, adoçantes, sal e especiarias. O peixe é aquele que normalmente apresenta níveis mais elevados, variando consoante o seu habitat, comparativamente com os alimentos mencionados” (ALEGRE, 2012).

Como já foi mencionado anteriormente, o arsênio está presente na água, no solo e na cadeia alimentar, em diversos tipos de alimentos, o que proporciona um acréscimo na possibilidade de intoxicação por meio de ingestão, isso ocorre devido ao uso intensivo de produtos que contêm arsênio na produção alimentícia como um todo, como é o caso da agricultura, juntamente com a quantidade natural que já existe no meio ambiente, acarretando na introdução deste composto nos alimentos produzidos. Como pode ser observado na figura 7, no esquema elaborado por Roy e Saha para a revista Current Science.

Figura 7: Esquema das fontes de exposição de arsênio ao homem.



Fonte: ROY e SAHA, 2002.

O arsênio pode ser encontrado nos alimentos provenientes da biota aquática, como os mariscos e peixes, e também nos grãos, como no arroz, sendo esse o considerado como maior acumulador de arsênio nocivo à saúde. Diante disso, é válido ressaltar que o arroz português pode conter uma quantidade significativa deste metaloide, até mesmo ao se comparar com outras origens de arroz no mundo, isso se dá devido as características geográficas da região onde é realizada a produção do alimento. (SIMÕES, 2014).

É necessário acrescentar nas legislações portuguesas itens que englobem níveis admissíveis de arsênio nos alimentos e nos solos, visto que as existentes só fazem referência aos valores nas águas de consumo e de rega. Dessa forma, utiliza-se os valores paramétricos adotados em outros países, como o Canadá, para que haja um controlo, mostrado na tabela 8.

Tabela 8: Valor paramétrico máximo adotado no Canadá.

	Teor de arsênio	Limites	Fontes
Água para consumo	$10 \mu gL^{-1}$	VMA	OMS, 1992 Council Directive 98/83/EC Decreto-Lei nº 306/2007
Águas de rega	$10 mgL^{-1*}$	VMA	Decreto-Lei nº 236/98
Solos	$17 mgKg^{-1}$	LM	Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999
Arroz Cru	$0,3 mgKg^{-1}$	LM	CX/CF 12/6/8

Fonte: SIMÕES, 2014.

Legenda:

VMA – Valor Máximo Admissível

LM- Limite Máximo

*Toxicidade variável consoante as culturas: $0,05 mgL^{-1}$ para o arroz

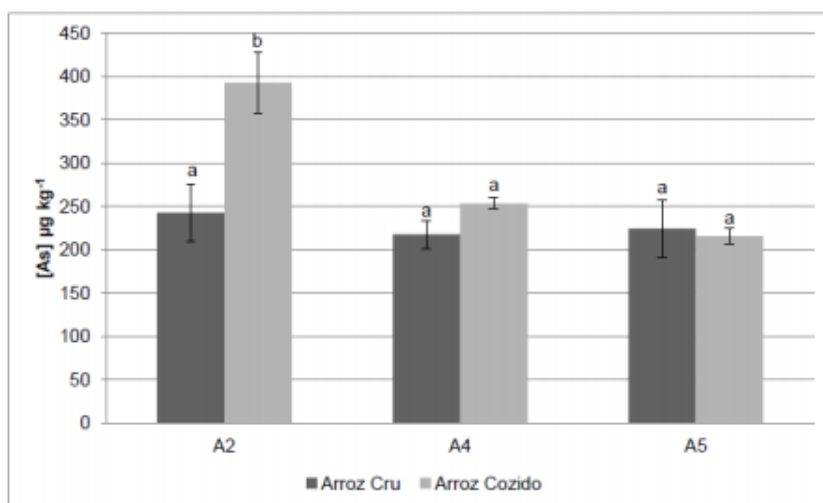
O arroz é o alimento mais preocupante frente à concentração de As, tendo em vista que é proveniente da terra, pelo que qualquer alteração feita nesta, afetará diretamente a sua produtividade e a composição desse grão, tornando-o susceptível às contaminações do meio. Assim, se existir uma contaminação do solo ou da água de irrigação por arsénio, apesar deste ser considerado um elemento não essencial, ainda é tóxico para as plantas, provocando alterações nas suas raízes. Essas alterações podem consistir na inibição da extensão e proliferação das raízes, interferindo no crescimento e dificultando a acumulação de biomassa que, consequentemente prejudica a capacidade reprodutiva da planta (ABEDIN e MEHARG, 2002). Além disso, há interações químicas e biológicas diferentes quando o arsénio está presente no meio. Tal sucede porque o As reage com diversos elementos como o ferro que, ao ser oxidado, precipita e forma o hidróxido de ferro. Este fica acumulado nas raízes das plantas, facilitando a captura de arsénio do solo (GARNIER *et al.*, 2010).

SMITH *et al.* (2008) afirma que, na planta do arroz, há uma diferenciação do tipo de arsénio em relação à sua forma como, por exemplo, a raiz, os caules e as folhas contêm em grande parte Asi, AsIII e AsV, enquanto o grão de arroz contém predominantemente a espécie orgânica DMA e AsIII. Este autor refere ainda que a contaminação por arsénio no arroz pode

ocorrer de forma direta, ou seja, por ingestão do grão propriamente dito ou ainda de forma indireta através da inserção deste elemento na cadeia alimentar. Nesse sentido, aquando a produção do arroz, o grão é separado das folhas e caules. Estes últimos passam por um processo de secagem que, de seguida, é fornecido como alimento para o gado. Como tal, o arsénio é inserido nessa cadeia alimentar, criando-se uma outra forma de exposição a este poluente.

As concentrações de arsénio no arroz estão relacionadas com a área geográfica em que este é produzido, com a fonte de contaminação e com capacidade da planta em absorver As. No caso dos países asiáticos, a principal causa de contaminação está relacionada com a presença de arsénio nas águas subterrâneas que são usadas na irrigação. Por sua vez, na América do Norte, a utilização de pesticidas que contêm As provocam estas alterações na sua composição (ZAVALA *et al.*, 2008). A toxicidade é intensificada após o processo de cozedura, visto que a elevada temperatura é capaz de alterar os processos químicos dos elementos e também porque a água usada para cozedura pode adicionar arsénio, se está estiver contaminada (Gráfico 3). Assim, quando se compara o arroz cru e o arroz cozido é perceptível que este último apresente uma maior concentração de arsénio (RAHMAN e HASEGAWA, 2011). Nesse sentido, é importante a realização de um estudo da concentração de As no arroz cozido, pois poderá fornecer informações necessárias sobre o grau de contaminação através dessa via de exposição (ingestão) e se afeta os seres humanos.

Gráfico 3: Comparação da concentração de arsênio no arroz e o cozido.



Fonte: SIMÕES, 2014.

3. CAPÍTULO: AVALIAÇÃO DE RISCO

3.1. Riscos de contaminação

A toxicidade do arsênio no organismo animal como um todo ocorre principalmente por vias de ingestão, ocasionada pela presença do composto nas águas e nos alimentos. Este é absorvido no trato digestivo, porém existem outras vias de contaminação, como: por inalação e contato direto pela pele. Como já foi dito anteriormente, o As é um composto natural presente na terra e está em constante contato com os seres humanos, como apresenta a tabela 9, porém a sua intoxicação dá-se pela exposição exagerada de quantidades superiores de arsênio aceitável.

Tabela 9: Níveis de arsênio normalmente encontrado no ambiente

Níveis de arsênio no ambiente			Níveis Normais de arsênio no homem
Ar	Solo	Água	
1-3 ng/m ³ em locais remotos 20-100 ng/m ³ em áreas urbanas	Varia entre 0,01 – 600 mg/kg; valor médio: 2- 20 mg/kg	A água potável contém média 2 µg/l de arsênio.	< 1 µg/l no sangue < 100 µg/l na urina ≤ 1 ppm nas unhas ≤ 1 ppm no cabelo

Fonte: IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER

Há dois tipos de toxicidade, aguda e crônica, diferenciando-as através dos fatores de contaminação, tendo como principais o tempo de exposição e a quantidade exposta. Visto isso, a toxicidade aguda é considerada quando há uma exposição de grande quantidade de arsênio em um período curto de tempo. Diferente da toxicidade crônica, na qual o indivíduo está exposto a um período maior de tempo por quantidades menores. (RODRIGUES, 2010).

Segundo RODRIGUES (2010), quando o corpo humano absorve mais arsênio do que é capaz de processar, inicia-se o processo de intoxicação que poderá ser aguda, na qual os sintomas aparecem de imediato, como: náusea, vômitos e diarreia. Deve-se considerar que a ingestão de mais de 2 g pode ser letal ao humano.

De acordo com RODRIGUES e MALAFAIA (2008), a ingestão de arsênio pela água é uma das causas mais preocupantes de intoxicação, justamente pelo fato de a água ser a fonte de vida para todos os seres humanos e estar presente em todas as atividades. Devido a isso, a contaminação por essa via tornou-se alarmante à saúde pública. A presença desse composto nas águas é proveniente dos depósitos naturais ou por práticas agrícolas e industriais, principalmente a mineração. A ingestão pela água geralmente encaixa-se na intoxicação crônica, por ser uma contaminação em longo prazo, causando risco à saúde ocasionando várias doenças, como: câncer e numerosos efeitos patológicos, tais como doenças cutâneas (hiperpigmentação e hiperqueratose), gastro-intestinais, vasculares, diabetes melitus e neuropatias periféricas.

Por consequência dos danos causados à saúde, o arsênio é hoje considerado muito perigoso, o que exige que sejam feitos estudos científicos desse elemento e, de acordo com a Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), milhares de pessoas estão expostas a quantidades consideráveis desse elemento todos os dias. (RODRIGUES e MALAFAIA, 2008).

3.2. Fontes de contaminação

A intoxicação por arsênio ocorre principalmente pela sua ingestão da forma inorgânica, presente nos alimentos e nas águas. Este cenário apresenta-se como uma das formas mais agravantes de contaminação. De acordo com Sakuma (2007), o arsênio pode ser encontrado na natureza, em uma gama de elementos, por exemplo: nos minérios de ouro (Au), prata (Ag), cobalto (Co), níquel (Ni), chumbo (Pb), cobre (Cu), manganês (Mn) e antimônio (Sb). Na tabela 10 estão exemplificados os minerais de arsênio mais comuns na natureza.

Tabela 10: Minerais de arsênio mais comum na natureza.

Mineral	Fórmula química	% de arsênio
Arsenopirita	$FeAsS$	46
Lollingita	$FeAs_2$	73
Orpimenta	As_2S_3	61
Realgar	AsS	70
Arsênio nativo	As	90-100

Fonte: REVISTA SAÚDE, 2008.

As fontes naturais da introdução de arsênio no meio ambiente abrangem minerais e rochas que contêm em sua estrutura esse composto, além dos solos e sedimentos formados a partir dessas rochas, assim como os fenômenos geotermiais e vulcânicos, podendo os seus compostos assumirem propriedades metálicas e não metálicas. O composto é produzido pela atividade hidrotermal da intrusão de magmas graníticos e orogenese (formação de montanhas), e, por meio disso, o arsênio natural é transportado pelas águas que entraram em contato, podendo alcançar diferentes mananciais. As fontes antropogênicas incluem atividades relacionadas com processos industriais (vidro, lã, algodão) e minérios (cobre, ouro, níquel, chumbo e zinco), da utilização de pesticidas e herbicidas, principalmente na agricultura, dos processos de preservação de madeira, despejo irregular e carreamento de resíduos perigosos, como os provenientes das centrais termoelétricas. É válido ressaltar que apesar das águas superficiais apresentarem um contato direto com o meio externo, é nas águas subterrâneas que ocorre uma maior concentração de arsênio, como é visto na tabela 11 (Duarte et al, 2009).

Tabela 11: Fontes de arsênio nos dois tipos de mananciais

Massa de água	Tipo	Fonte	Concentração (As)
A nível mundial	Subterrânea	Difusa: interação água/ solo ou água/rocha; atividade mineira	Elevada
	Superficial	Difusa: actividade mineira, agrícola e geotérmica Pontual: efluentes industriais, presença de minerais de quartzo e enxofre	Baixa
Portugal	Subterrânea	Difusa: actividade mineira; presença de minerais de quartzo e enxofre	Elevada

Fonte: DUARTE *et al*, 2009

3.3. Exposição ao arsênio e Impacto na saúde humana

Há três tipos de exposição de arsênio ao ser humano: oral, por inalação ou dérmica, ou seja, a contaminação pode ocorrer por meio dos alimentos, da água (ingestão ou contato com a pele) ou pelo ar. A sua toxicidade e periculosidade vai depender de diversos fatores, tais como: forma física ou química do arsênio, via de exposição, concentração e duração da exposição, das doses diárias, susceptibilidade genética, saúde, de compostos secundários atuantes, da idade e do sexo da pessoa exposta. Entretanto, a via de exposição mais preocupante é a via oral, por ingestão do arsênio, visto que através desse meio há contaminação do arsênio inorgânico, considerado o mais perigoso, por ser carcinogênico. (NORANHA, 2011).

A presença de arsênio nas águas para consumo tem alertado para uma preocupação crescente com a saúde pública, visto que a contaminação das águas afeta diretamente a saúde humana, com aparição de inúmeras doenças, desde as mais leves, como lesões cutâneas, até as mais graves, como perturbações neurológicas. Segundo Cunha e Duarte (2008), o contato direto com água que apresenta valores extrapolados de arsênio vem afetando mais de 40 milhões de pessoas, e com o objetivo de reverter este cenário a OMS recomendou que o valor máximo permitido de arsênio na água para consumo fosse mais restritivo, o que obrigou as entidades gestoras de água a tomar medidas mais rígidas para a diminuição e o controle da quantidade de arsênio na água.

Devido a exigência da OMS para restabelecer alguns parâmetros limites para assegurar a qualidade da água de consumo, a legislação portuguesa estabeleceu o Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, a modificar o Decreto-Lei n.º 243/2001, de 5 de Setembro, alterando esses valores paramétricos, além de racionalizar o controlo dos pesticidas, e modificar a origem das análises de água, que passou ser diretamente das torneiras do consumidor.

Este decreto, publicado pelo Ministério do meio ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, afirma a necessidade do controle regular e frequente das análises de água para todos os componentes de abastecimento, com a finalidade de assegurar a qualidade de água ao consumidor, levando em consideração todos os tipos de águas e todas as fontes de consumo, visto que cada um apresenta a sua particularidade, como é o caso de algumas regiões onde a água apresenta uma dureza mais elevada, ou o aparecimento de

diferentes tipos de bactérias. Por esta razão é de extrema importância a realização de análises de parâmetros específicos.

Um ponto primordial do decreto foi a criação do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) com o intuito de juntar e concentrar em um só órgão atribuições que anteriormente estavam dispersas em várias entidades, dificultando a organização de dados, que resultava em uma baixa eficácia na administração e na fiscalização dos fatores essenciais à protecção da saúde humana.

Algumas substâncias, como o arsênio, estão classificadas como sendo um parâmetro conservativo, ou seja, o controle da presença destas substâncias e suas quantidades são obrigatórias para as entidades gestoras que são responsáveis por produzir água para consumo.

Entretanto, quanto menor a quantidade de arsênio presente na água de consumo, haverá menos impacto negativo sobre a saúde humana, visto que a OMS afirma que o arsênio é uma substância acumulativa, o que significa que qualquer quantidade ingerida ficará armazenada no organismo humano, e a sua toxicidade independe da quantidade. (NORONHA, 2011).

3.4. Doenças relacionadas

De modo geral, a ocorrência de intoxicação aguda por arsênio é mínima, pois necessitaria a ingestão de mais 0,005 mg/Kg.dia, o que normalmente não acontece, porém já houve casos de intoxicação em que uma pessoa bebeu água contendo 1,2 e 21,0 mg/L de arsênio e apresentou rapidamente sintomas como: dor abdominal, vômitos, diarreia, dores musculares e entre outros. No caso de ser uma toxicidade crônica, o indivíduo tem de ingerir uma quantidade superior a 0,0003 mg/Kg.dia, manifestando em sintomas como: lesões dérmica, alteração vasculares mais especificamente doenças vasculares periféricas e isquêmica cardíaca, aumento na incidência de cancro, como o do pulmão, pele, bexiga, rins e fígado. A detecção de arsênio no organismo humano diferencia de acordo com o tempo de exposição, ou seja, como o tipo de intoxicação, e, no caso da crônica, é analisada pelos indicadores biológicos encontrado no cabelo e nas unhas, já a aguda é determinada pelas análises no sangue, além dessas também há a análise da urina do indivíduo quando a exposição ainda é muito recente. (NORONHA, 2011).

A tabela a 12 foi elaborada com intuito de relacionar os 2 tipos de toxicidade com os seus respectivos sintomas.

Tabela 12: Relação da toxicidade do arsênio com os seus respectivos sintomas.

Toxicidade	Quantidade (mg/Kg.dia)	Sintomas
Aguda	Superior a 0,005 mg/Kg.dia	Dor abdominal, vômito, diarreia, vermelhidão da pele, dor muscular e fraqueza, seguidos algumas vezes por dormência e formigamento das extremidades, câibras e pápula eritematosa.
Crônica	Superior a 0,0003 mg/Kg.dia e inferior a 0,005 mg/Kg.dia	Lesões dérmicas*, como hiper e hipopigmentação, neuropatia periférica, câncer de pele, bexiga e pulmão, e doença vascular periférica

Fonte: Adaptado de CETESB, 2017.

*Lesões dérmicas são observadas em um período de exposição de mínimo 5 anos.

De acordo com Alegre (2012), os sintomas mais comuns ocasionados pela ingestão de As são: fraqueza, debilidade, perda de cabelo, rouquidão e perda de peso. Este composto é extremamente perigoso, pois é considerado como “neurotóxico, nefrotóxico, genotóxico e

cancerígeno, podendo originar, face a uma exposição prolongada, doenças cardiovasculares e neurológicas, diabetes tipo 2 e vários tipos de cancro”. (NAVAS-ACIEN *et al.*, 2006; THORSEN *et al.*, 2009).

A agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica algumas substâncias em grupos, relacionados ao impacto na saúde humana: grupo 1 os que são carcinogênicos, grupo 2A os que tem probabilidade de ser carcinogênicos, grupo 2B possivelmente são carcinogênicos, grupo 3 são os não classificados como carcinogênicos e o grupo 4 que provavelmente não são carcinogénico para o ser humano. Em razão disso e a partir de alguns estudos realizados por essa agência, o arsênio é classificado como pertencente ao grupo 1, ou seja, é altamente perigoso para a saúde humana por ter características carcinogénicas. (IARC, 2012).

Já com relação à natureza carcinogénica do As, estudos recentes desenvolvido na Coreia demonstraram que em uma população exposta a solos e águas contaminadas por As, o risco de câncer aumentou em mais de 10 vezes, quando comparado a uma população não exposta ao elemento. (REVISTA SAÚDE, 2008).

Para analisar o tempo em que o arsênio se encontra no organismo de uma pessoa são realizadas análises no sangue, nas unhas e no cabelo. O arsênio no sangue indica que a intoxicação ocorreu recentemente e, geralmente, irá ser eliminada pela urina. Entretanto, quando a substância já pode ser identificada nas unhas e no cabelo significa que o As já está presente no organismo há mais tempo e poderá acarretar doenças. (SCARPELLI, 2010).

O arsênio é considerado como uma substância altamente tóxica devido as suas propriedades que afetam a saúde humana como um todo, entretanto, alguns indivíduos estão mais suscetíveis à intoxicação, como é caso das crianças, idosos, do feto e algumas pessoas que já apresentam uma suscetibilidade genética. No intuito de tornar esta afirmativa mais clara analisamos dois cenários, usando uma dose letal de arsênio estimada em cerca de 0,6 mg/kg/dia. O primeiro refere-se a um adulto de 70 kg e o segundo a uma criança de 10 kg. Para o adulto a dose considerada letal seria de 0,042 gramas e para a criança bastaria 0,006 gramas. (MARTIN, 2008).

3.5. Avaliação de risco (cenários)

A avaliação de risco é uma análise que possibilita determinar as probabilidades de ocorrência de um determinado evento, mensurando as consequências tanto no ambiente quanto na saúde humana. Por essa razão, este trabalho propõe a realização de 6 cenários, onde pode ser observada a influência da ingestão de arsênio pela água e também pelo arroz cozido. Este foi adicionado no intuito de aproximar os cenários propostos com a realidade da população, já que a introdução deste composto pode acontecer de diversas maneiras e por diferentes agentes contaminador.

Nas águas subterrâneas utilizou-se uma média geral de arsênio encontrado nesses corpos hídricos e mais 3 cenários analisando regiões onde também há uma pequena concentração de arsênio. Além de 2 cenários correspondentes à concentração no arroz cozido (o qual irá ser consumido, diferenciando apenas pela frequência, sendo um com consumo de 3 dias e outro de 5 dias na semana).

Estes cenários irão demonstrar mais especificamente se, diante da ingestão dessas quantidades de arsênio, a população poderá estar exposta ao perigo à saúde e também com possibilidade de obter cancro.

É válido ressaltar que os parâmetros comparativos para determinar se há ou não perigo à saúde é na obtenção do índice de perigo, onde:

- Índice de perigo < 1 ; equivale a não presença de perigo.
- Índice de perigo ≥ 1 ; equivale a presença de perigo.

4. CAPÍTULO: MATERIAIS E MÉTODOS.

Para mensurar os possíveis riscos para a saúde através da ingestão de água que contém certa quantidade de arsênio, o presente trabalho utilizou dados de referências de estudos realizados anteriormente nas águas e nos alimentos de Portugal, especificamente do arroz, por ter uma grande capacidade de acumulo de arsênio e também por ser um alimento bastante consumido no país.

Fez-se se uso de uma metodologia quantitativa para mensurar os resultados, utilizando 7 cenários, nos quais 5 são referentes a águas subterrâneas e 2 ao arroz cozido.

Visto isso, a utilização de águas subterrâneas para consumo humano é a fonte mais usada pela população portuguesa que não tem acesso a água canalizada, então observou um valor médio de arsênio de 0,800 mg/L (DUARTE et al, 2009)., adotando a ingestão de 3L de água diariamente (LAGINHA, 2012), visto que esta é uma estimativa de consumo de água para um adulto saudável. No intuito de comparar resultados, também foi proposto mais um cenário (5) onde a ingestão de água fosse equivalente a 1,5L, pois observou-se que os portugueses não ingerem diariamente o valor alto de água, principalmente em estações mais frias.

Além disso, a fim de fazer uma comparação, utilizou-se 3 regiões que contém arsênio em suas águas, que apresentam as seguintes quantidades: 0,540 mg/L (Vila Flor), 0,330 mg/L (Benlhevai) e 0,760 mg/L (Ponte de Sôr), (ALEGRE, 2012).

No caso do arroz cozido português, utilizou-se uma concentração de 0,428 mg/kg para 70g/dia. (SIMÕES, 2014)

Através das concentrações de referência pode-se obter a dose resposta para a ingestão dessas quantidades, pelo meio da determinação da dose média diária (average daily dose – ADD), o índice de perigo, a dose média diária ao longo da vida (lifetime average daily dose – LADD) e a incidência de tumores ou risco de cancro (P). Estes dois últimos apenas são aplicados quando a substância em questão é carcinogênica, como é o caso do arsênio.

Para determinar todos esses aspectos é necessário primeiramente obter a quantidade total (Qt), onde:

$$QT = \text{Concentração de arsénio} \times \text{Consumo diário de água/ arroz} \times \text{Frequência da exposição} \times \text{duração de exposição}$$

Então, temos que:

$$ADD = QT \text{ (mg)} \text{ Peso do indivíduo (kg)} \times \text{Período de tempo da exposição (dias)}$$

Com a determinação da dose média diária é possível calcular o índice de perigo, através da fórmula:

$$\text{Índice de Perigo} = ADD / Rfd$$

Sendo que a Rfd é um valor determinado de segurança onde não se espera que ocorra um efeito adverso, ou seja, é a dose de referência, e para esse estudo utilizou o valor tabelado para o arsénio de 0,0003.

Por sua vez, a dose média diária ao longo da vida (LADD) determina-se através da fórmula:

$$LADD = QT \text{ (mg)} \text{ Peso do indivíduo (kg)} \times \text{Esperança de vida do indivíduo (dias)}$$

E o risco de cancro determina-se através de $P = LADD \times SF$, em que SF é o factor de declive, equivalente a 1,5mg/kg/dia.

Como o trabalho se trata de um estudo de caso em Portugal, na determinação dos parâmetros utilizou-se as características da população portuguesa, sendo assim, para os parâmetro ADD foi considerado o peso médio de 70 kg. Por sua vez, para o LADD considerou-se o peso médio dos indivíduos do género masculino da população portuguesa de 80 kg, com esperança de vida de 80 anos e para o género feminino de 70kg com esperança de vida de 85 anos. Acresce ainda referir que adoptou-se o valor de declive (SF) e o valor de Rfd divulgados na EPA (Environmental Protection Agency) para o arsénio inorgânico.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o risco para a saúde humana pela presença de arsénio na água (foco principal) e também no alimento (através do arroz cozido) em Portugal. Neste sentido e com todos os parâmetros calculados, foram elaborados cenários que se adequam ao estilo de vida da população em questão.

5. CAPÍTULO: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a construção dos cenários propostos referente aos dados coletados em referências biográficas, juntamente com o desenvolvimento dos cálculos, foram obtidos os valores para os parâmetros necessários para a realização da análise de risco, apresentados nas tabelas 13 (na água) e 16 (no arroz).

Tabela 13: Parâmetros para avaliação da dose resposta para os quatro cenários referentes à concentração de arsênio nas águas subterrâneas.

	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
QT	613,2 mg	413,91 mg	229,945mg	229,95 mg
ADD	$3,43^{-4}$	$2,31^{-4}$	$1,28^{-4}$	$1,28^{-4}$
Índice de perigo	1,14	0,77	0,42	0,42
LADD Mulher	$2,80^{-4}$	$1,90^{-4}$	$1,00^{-4}$	$1,00^{-4}$
LADD Homem	$2,80^{-4}$	$1,70^{-4}$	$9,84^{-5}$	$9,84^{-5}$
Risco cancro de (P) Mulher	$1,90^{-4}$	$1,27^{-4}$	$7,05^{-5}$	$7,05^{-5}$
Risco cancro de (P) Homem	$1,80^{-4}$	$1,18^{-4}$	$6,56^{-5}$	$6,56^{-5}$

Onde:

- Cenário 1: 7 dias por semana por 70 anos (Portugal como um todo), com consumação de 3L de água diária
- Cenário 2: Vila Flor 7 dias por semana por 70 anos
- Cenário 3: Benlhevai 7 dias por semana por 70 anos
- Cenário 4: Ponte de Sôr 7 dias por semana por 70 anos

Tabela 14: Parâmetros para avaliação da dose resposta para o cenário referente à comparação da quantidade de ingestão de água com concentração de arsênio.

	CENÁRIO 5
QT	3066 mg
ADD	1119090
índice de perigo	$3,73^{-9}$
LADD Mulher	$1,41^{-3}$
LADD Homem	$1,31^{-3}$
Risco de cancro Mulher (P)	$9,41^{-4}$
Risco de cancro Homem (P)	$8,75^{-4}$

- Cenário 5: 7 dias por semana por 70 anos (Portugal como um todo), com consumação de 1,5L de água diária.

O cenário 5 funciona como um parâmetro comparativo na finalidade de mostrar que ao se ingerir menores volumes de água contendo concentração de arsênio de 0,800 mg/L não acarretará risco de cancro para a saúde humana, diferente de quando se consome um valor de 3L de água, mostrado no cenário 1. Entretanto, é valido ressaltar que a diminuição da ingestão de água por dia não é a solução mais adequada para evitar risco.

Em observação a tabela 13, nota-se que no cenário 1 que corresponde a ingestão de água através de fontes de captação subterrânea é evidenciado um perigo potencial para saúde humana, uma vez que o valor do indice de perigo é superior a 1. E por isso, é possível realizar o cálculo para estimar os possíveis casos de cancro neste cenário, já nos outros cenários que não indicam risco de cancro superior a 1 não é necessário realizar a estimativa.

Em relação ao risco de cancro, podemos ainda estimar o número de cancros que pode surgir consoante a população em causa. Assim, segundo o INE (Instituto Nacional de Estatística), em 2016 residiam em Portugal 10 309 573 indivíduos, dos quais 4 882 456 são do género masculino e 5 427 117 do género feminino. Na Tabela 15 podemos observar a estimativa do número de cancros (N) para os diferentes cenários.

Tabela 15. Estimativa do número de cancros para os diferentes cenários propostos.

ESTIMATIVA DE CANCRO	1021,57	Mulher
	854,42	Homem

Da mesma forma foi elaborado os cenários para avaliar os parâmetros de arsênio no arroz cozido, visto que o seu consumo contribui para o possível risco à saúde. Levando em consideração o consumo tanto da água, quanto o arroz, ocasionando no aumento da probabilidade do perigo.

Tabela 16: Parâmetros para avaliação da dose resposta para os dois Cenários referentes a concentração de arsênio no arroz.

	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2
QT	234,33 mg	390,55
ADD	$1,83^{-4}$	$3,06^{-4}$
Índice de perigo	0,61	1,02
LADD Mulher	$1,08^{-4}$	$1,80^{-4}$
LADD Homem	$1,00^{-4}$	$1,67^{-4}$
Risco de cancro Mulher (P)	$7,19^{-5}$	$1,20^{-4}$
Risco de cancro Homem (P)	$6,69^{-5}$	$1,11^{-4}$

Onde:

- Cenário 1: 3 dias por semana por 50 anos (70 g de arroz cozido)
- Cenário 2: 5 dias por semana por 50 anos (70 g de arroz cozido)

Tendo em vista que o consumo de arroz em Portugal é classificado elevado, o cenário 2 referente ao consumo de 70g de arroz, em 5 dias na semana durante 70 anos, apresenta um valor considerado como perigoso à saúde (acima de 1), diferente do cenário 1, que não apresentou perigo.

Então, também foi estimado o risco de números de cancro da população portuguesa, assim temos:

Tabela 17: Estimativa do número de cancros para os diferentes cenários propostos.

ESTIMATIVA DE CANCRO	650,65	Mulher
	544,19	Homem

Estas tabelas mostram que, dentre os cenários propostos, os que apresentam mais risco estão o cenário 1 da água, e o cenário 2 do arroz. Desse modo comparado por gênero da população portuguesa, inferiu-se que a estimativa de ocorrência de casos de cancro para o gênero feminino é de 1021,57 e 650,65, e do gênero masculino é de 854,42 e 544,19, para água e para o arroz respectivamente.

6. CAPÍTULO: CONCLUSÃO

Sabendo-se da importância de se conhecer o estilo de vida da população portuguesa, para aplicar corretamente os cálculos de acordo com os hábitos alimentares, o estudo permitiu entender haver necessidade de uma avaliação de risco e compreender a existência de um risco sério para a saúde humana da população de Portugal devido à ingestão, principalmente de água de captação subterrânea sem análise e/ou tratamento, além da adição do consumo de arroz.

Assim sendo, o trabalho inferiu que o consumo de 3 litros de água por dia durante 70 anos, com concentração de arsênio equivalente a 0,800 mg/L, pode acarretar um perigo potencial para a saúde. Da mesma forma que o consumo de arroz (70g) durante 5 dias por semana por 50 anos. Entretanto, como esse consumo não é uma regra geral, deve-se considerar que algumas pessoas podem consumir menos ou mais do que essas quantidades estipuladas. Acrescenta-se também que a ingestão deste composto pode advir de outros alimentos e até mesmo do solo ingerido diariamente.

Essa união de ingestão pode ser altamente prejudicial à saúde, acarretando inúmeras doenças, incluindo o cancro. Desse modo, aconselha-se uma alimentação equilibrada e variada com um consumo de pequenas quantidades.

Tendo em vista que este trabalho teve como base referências de estudos e análises anteriores, pode-se observar que ainda existe pouca informação sobre as quantidades de arsênios presentes tanto nas águas, quanto em alimentos, e, conseqüentemente, há escassez de esclarecimentos também para a população em questão. Ressalta-se a importância de haver uma disseminação de conhecimento sobre o assunto para que seja impulsionado o cuidado com saúde, com a finalidade de poder procurar alternativas de mudanças de hábitos de vida, a fim de evitar danos a saúde.

É válido ressaltar que este trabalho também tem como intuito servir como base para possíveis estudos futuros, visto que atualmente ainda é escassa as informações referente a essa contaminação, por consequência é necessária a continuação de pesquisas na área. Além de contribuir para a necessidade de firmar o valor paramétrico já existente de arsênio nos corpos hídricos de consumo.

REFERÊNCIAS

- Abedin, J., Cresser, M. S., Meharg, A. A. & Feldmann, J. Cotter-Howells, J. 2002. **Arsenic accumulation and metabolism in rice (*Oryza sativa* L.)**. Environ. Sci. Technol.
- Abonga, M., 2012. **Arsenic bioaccessibility under variable physiological conditions of the human gut**. Master's Dissertation. Ghent University, Belgium.
- ALEGRE, A, 2012. **Saccharomyces cerevisiae como biossensor de arsénio na água: caso de estudo da Ribeira do Bodelhão e do Rio Zêzere**. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Portugal, pág. 24.
- ARIAS, 2013. **Contaminantes emergentes, seus efeitos no meio ambiente e desafios para novos mecanismos de purificação de água**. Tese de graduação. UNICAMP, Brasil.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). **Toxicological Profile for Arsenic**, Atlanta, USA. 2007
- BRANCO, O. 2006. **Avaliação da disponibilidade hídrica: Conceitos e aplicabilidade**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.
- BRASIL. Lei nº. 6.938/1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>
- CHAKRABORTI *et al*, 2000. **Groundwater Arsenic Contamination in Bangladesh and West Bengal, India**. Environmental Health Perspectives * VOLUME 108 1 NUMBER 51
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), 2017. **Ficha de informação toxicológica- Arsénio**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Brasil.
- Conselho Nacional de Águas (CNA), 2018. **Propriedade da água**. Portugal.
- CORREIA, C. 2008. **Contribuição para a análise da presença de arsénio em águas de abastecimento e sua remoção por precipitação química**. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- CUNHA, P. e DUARTE, A. 2008. **Remoção de arsénio em águas para consumo humano**. Universidade do Minho. Portugal.
- DUARTE, A; CARDOSO, S; ALÇADA, A, 2009. **Remoção de arsénio em sistemas de abastecimento de água. Estudo de caso**. Universidade do Minho, Portugal.
- Environmental Protection Agency **Arsenic, inorganic; CASRN 7440-38-2**. Integrated Risk Information System (IRIS) U.S. Environmental Protection Agency Chemical Assessment Summary National Center for Environmental Assessment.
- Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), 2018. **Controlo da qualidade da água para consumo humano**. Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. Volume 2. Portugal.

European Food Safety Authority (EFSA), 2004. **Assessment of the dietary exposure to arsenic, cadmium, lead and mercury of the population of the EU Member States**. Report on tasks for scientific cooperation, Estados Unidos.

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), 2016. **Caraterização do setor de águas e resíduos**. Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. Portugal.

Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), 2018. **Regime legal do controlo da qualidade da água para consumo humano**. Lisboa,

Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), 2015. Proportion of renewable water resources withdrawn: MDG Water Indicator. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/maps/MDG_eng.pdf> Acesso em: 20/07/2019

Figueira, R., Sérgio, C., Lopes, J. L. e Sousa, A. J. (2007). **Detection of exposition risk to arsenic in Portugal assessed by air deposition in biomonitors and water contamination**. International Journal of Hygiene and Environmental Health.

Garnier, J., Travassac, F., Lenoble, V., Rose, J., Zheng, Y., Hossain, M. S., Chowdhury, S. H., Biswas, A. K., Ahmed, K. M., Cheng, Z., Geen, A. 2010. **Temporal variations in arsenic uptake by the rice plants in Bangladesh: The role of iron plaques in paddy fields irrigated with groundwater**. Science of the Total Environment.

GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007. **Saneamento Básico**. Instituto de Tecnologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Brasil. Pág. 1.

International Agency for Research on Cancer (IARC), 2012. **Arsenic and arsenic compounds**. Estados Unidos.

Instituto Nacional de Estatística (INE), 2016. **Portugal em Números e In Figures**. Portugal.

JOHNSTON, R. HEIJNEN, H. 2001. **Safe Water Technology for Arsenic Removal**. Consultant to UNICEF and WHO, Bangladesh

Laginha, M. L. 2012. **Caracterização do padrão de consumo de água de uma população saudável**. Mestrado integrado em ciências farmacêuticas. Universidade Lusófona de Humanidade e Tecnologias.

Lièvremon, D., Bertin, P. N., & Lett, M.-C. 2009. **Arsenic in contaminated waters: Biogeochemical cycle, microbial metabolism and biotreatment processes**. Biochimie.

MARTIN, 2008. **O arsênio afeta a saúde humana**. Texas USA. Disponível em: <<http://alertaparacatu.blogspot.com/2008/01/o-arsnio-afeta-sade-humana.html>>

Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (MAOTDR), 2007. **Decreto-lei n.º 254/2007**. Portugal..

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasil.

Navas-Acien, A., K. Silbergeld, E., A. Streeter, R., M. Clark, J., A. Burke, T., & Guallar, E. (2006). **Arsenic exposure and type 2 diabetes: a systematic review of the experimental and epidemiological evidence.** Environmental Health Perspectives.

NORANHA, 2011. **Água destinada ao consumo humano. Risco para a saúde humana resultante da exposição de arsênio.** Portugal.

PATO, J. H. 2011. **História das políticas públicas de abastecimento e saneamento de águas em Portugal.** Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). Lisboa. Pág. 7.

PORTUGAL. Decreto Lei nº 152/2017 de 7 de dezembro. **Ambiente.** Disponível em: <<https://dre.pt/pesquisa/-/search/114315242/details/maximized>>

PORTUGAL. Lei nº 19/2014 de 14 de abril. **Define as bases da política de ambiente.** Disponível em: <<https://dre.pt/pesquisa/-/search/25344037/details/maximized>>

Rahman, M. A. & Hasegawa, H. **High levels of inorganic arsenic in rice in areas where arsenic-contaminated water is used for irrigation and cooking.** Science of the Total Environment. 2011.

Revista Exame, 2013. **Tecnologia permite detectar arsênico em águas subterrâneas.** Revista Online. Brasil.

RIBEIRO E ROOKE, 2010. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** Especialização em análise ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora. Brasil.

RODRIGUES, ET AL, 2008. Environmental education and environmental law: A study on the applicability of environmental legislation in a watershed. In Journal Univille – Special Edition. Joinville, Santa Catarina.

RODRIGUES A. S. L; MALAFAIA, G. 2008. **Efeitos da exposição ao arsênio na saúde humana.** Revista Ciência e Saúde. Pág. 148-159. Brasil.

ROY E SAHA, 2002. **Metabolism and toxicity of arsenic: A human carcinogen.** Department of Microbiology, Bose Institute, India

SAKUMA A. M. A, 2004. **Avaliação da exposição humana ao arsênio no Alto Vale do Ribeira, Brasil.** Tese. São Paulo: Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

SILVA. A. 2016. **Arsênio, impacto sobre o meio ambiente e saúde humana.** Fundação CECIERJ. Revista Educação Pública, ISSN. 1984-6290 – B3 Qualis, Capes. Brasil.

Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/16/17/arsnio-impacto-sobre-o-meio-ambiente-e-a-sade-humana>>

SIMÕES, A. 2014. **Avaliação da presença de arsénio em arroz e produtos derivados de arroz**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa. Portugal

SCARPELLI, W. 2010. **Arsênio, alerta de perigo**. Geologia Médica. Brasil

Smith, E., Juhasz, A. L., Weber, J. & Naidu, R. 2008. **Arsenic uptake and speciation in rice plants grown under greenhouse conditions with arsenic contaminated irrigation water**. Science of the Total Environment.

Smith, A.H.; Lingas, E.O.; Rahman, M. 2000. **Contamination of Drinking-Water by Arsenic in Bangladesh: A Public Health Emergency**. Bulletin of World Health Organization, v. 78, n. 9.

Thorsen, M., Perrone, G., Kristiansson, E., Traini, M., Ye, T., Dawes, I., et al. (2009). **Genetic basis of arsenite and cadmium tolerance in *Saccharomyces cerevisiae***.

TUNDISI, José Galizia. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**. *Cienc. Cult.* [online]. 2003, vol.55, n.4, pp. 31-33. ISSN 2317-6660.

VIEIRA, J. e MORAIS, C. 2005. **Planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano**. Universidade do Minho e Instituto Regular de Águas e Resíduos.

UNICEF E WHO, 2012. Progress on Drinking Water and Sanitation 2012. Disponível em: <<https://www.unicef.org/media/files/JMPPreport2012.pdf>> Estados Unidos.

UNICEF & WHO. 2015. **Progress on Sanitation and Drinking Water**. Disponível em: <https://www.unicef.org/publications/index_82419.html> Estados Unidos.

WHO (2000). **Air quality guidelines for Europe**, 2 ed. Copenhagen: WHO Regional Publications, European Series

WHO (2006). **Water Safety Plan Manual** Disponível em: <https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/manual.pdf>

WHO (2011). **Guidelines for drinking-water quality. Publications on water sanitation and health**. EUA. Disponível em: <https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/>

Zavala, Y. J. & Duxbury, J. M. 2008. **Arsenic in Rice I: Estimating Normal Levels of Total Arsenic in Rice Grain**. Environm. Sci. Technol.